



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

IN RE APPLICATION OF: Yutaka OHKI, et al.

GAU:

SERIAL NO: 10/619,437

EXAMINER:

FILED: July 16, 2003

FOR: SEMICONDUCTOR LASER DEVICE, SEMICONDUCTOR LASER MODULE, AND OPTICAL FIBER AMPLIFIER

REQUEST FOR PRIORITY

COMMISSIONER FOR PATENTS
ALEXANDRIA, VIRGINIA 22313

SIR:

- ☐ Full benefit of the filing date of U.S. Application Serial Number , filed , is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §120.
- ☐ Full benefit of the filing date(s) of U.S. Provisional Application(s) is claimed pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119(e):
- | <u>Application No.</u> | <u>Date Filed</u> |
|------------------------|-------------------|
| | |

☒ Applicants claim any right to priority from any earlier filed applications to which they may be entitled pursuant to the provisions of 35 U.S.C. §119, as noted below.

In the matter of the above-identified application for patent, notice is hereby given that the applicants claim as priority:

<u>COUNTRY</u>	<u>APPLICATION NUMBER</u>	<u>MONTH/DAY/YEAR</u>
JAPAN	2002-207494	July 16, 2002
JAPAN	2002-207495	July 16, 2002

Certified copies of the corresponding Convention Application(s)

- ☒ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee
- ☐ were filed in prior application Serial No. filed
- ☐ were submitted to the International Bureau in PCT Application Number
Receipt of the certified copies by the International Bureau in a timely manner under PCT Rule 17.1(a) has been acknowledged as evidenced by the attached PCT/IB/304.
- ☐ (A) Application Serial No.(s) were filed in prior application Serial No. filed ; and
- ☐ (B) Application Serial No.(s)
- ☐ are submitted herewith
- ☐ will be submitted prior to payment of the Final Fee

Respectfully Submitted,

OBLON, SPIVAK, McCLELLAND,
MAIER & NEUSTADT, P.C.

Bradley D. Lytle

Registration No. 40,073

Joseph A. Scafetta, Jr.
Registration No. 26,803



22850

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年 7月16日
Date of Application:

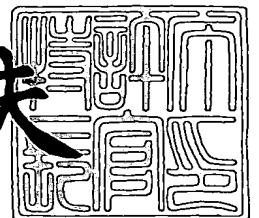
出願番号 特願2002-207494
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2002-207494]

出願人 古河電気工業株式会社
Applicant(s):

2003年 8月 1日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 A20347

【提出日】 平成14年 7月16日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/00
H01S 5/30
H04B 10/16

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 大木 泰

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 築地 直樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 吉田 順自

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 清水 裕

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号 古河電気工業株式会社内

【氏名】 早水 尚樹

【特許出願人】

【識別番号】 000005290

【氏名又は名称】 古河電気工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100089118

【弁理士】

【氏名又は名称】 酒井 宏明

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 036711

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0103421

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ラマン増幅を利用して光増幅を行い、かつ前方励起方式を採用する光ファイバ増幅器の励起光源として使用される半導体レーザ装置であって、

レーザ光の出射側端面に設けられた第 1 反射膜と該レーザ光の反射側端面に設けられた第 2 反射膜との間に形成された活性層と、

前記出射側端面と前記入射側端面とによって形成され、最大強度との差分値が 10 dB 以内となる発振縦モードが 60 本以下存在する光を選択する光共振器と

を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 2】 レーザ光の出射側端面に設けられた第 1 反射膜と該レーザ光の反射側端面に設けられた第 2 反射膜との間に形成された活性層を備えた半導体レーザ装置であって、

該活性層近傍に配設され、最大強度との差分値が 10 dB 以内となる発振縦モードが 60 本以下存在する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする半導体レーザ装置。

【請求項 3】 前記回折格子によって選択される発振縦モードの波長が 1100 nm 以上、1550 nm 以下であることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 4】 前記回折格子の結合係数と回折格子長との乗算値が 0.3 以下であることを特徴とする請求項 2 または 3 に記載の半導体レーザ装置。

【請求項 5】 前記回折格子は、グレーティング周期をランダムあるいは所定周期で変化させたことを特徴とする請求項 2～4 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項 6】 前記光共振器の共振器長は、800 μ m 以上であることを特徴とする請求項 2～5 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置。

【請求項 7】 請求項 1～6 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出力されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと

、
前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系と、
を備えたことを特徴とする半導体レーザモジュール。

【請求項 8】 前記半導体レーザ装置の温度を制御する温度制御装置と、
前記光結合レンズ系内に配設され、前記光ファイバ側からの反射戻り光の入射
を抑制するアイソレータと、

をさらに備えたことを特徴とする請求項 7 に記載の半導体レーザモジュール。

【請求項 9】 前記光ファイバの半導体レーザ装置側の端面は、光出射方向
に対して斜めになるよう形成されていることを特徴とする請求項 7 または 8 に記
載の半導体レーザモジュール。

【請求項 10】 請求項 1～6 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置も
しくは請求項 7～9 のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュールを備えた励
起光源と、

信号光を伝送する光伝送路と、

該光伝送路と接続され、ラマン増幅によって光増幅を行う増幅用光ファイバと

、
前記励起光源から出力される励起光を増幅用光ファイバに入力させるためのカ
プラと、

前記励起光源と前記カプラとを接続する励起光用光伝送路と、

を備えたことを特徴とする光ファイバ増幅器。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力する半導体レーザ装
置、半導体レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器に関し、特に、所定距離伝
送した後に相対強度雑音の強度が増加することのない半導体レーザ装置、半導体
レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年のインターネット等をはじめとする光通信の発展に伴い、長距離に渡って信号光を伝送するために、伝送用光ファイバ等の光伝送路の途中に光ファイバ増幅器を配設することが広く行われている。光通信システムにおいては、信号光が光伝送路中を伝送するに従って強度の低下が生じることから、光ファイバ増幅器によって信号光の強度を回復することで信号光の強度を所定範囲内に維持する必要があるためである。

【0003】

具体的には、光ファイバ増幅器として、光ファイバのコアにエルビウムをドープしたEDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) 等の不純物添加型のものと、ラマン増幅を利用した光増幅器に大別される。特に、ラマン増幅を利用した光ファイバ増幅器は信号光の波長を任意に選択することができる等の利点を有することから、近い将来における光ファイバ増幅器として有望視されている。

【0004】

エルビウム等の希土類イオンを媒体とした不純物添加型の光ファイバ増幅器がイオンのエネルギー準位によって利得波長帯が決定されるのに対し、ラマン増幅を用いた光ファイバ増幅器は励起光の波長によって利得波長帯が決定されるという特徴を有する。従って、ラマン増幅を用いた光ファイバ増幅器では、励起光波長を選択することによって任意の波長帯の信号光を増幅することができる。

【0005】

ラマン増幅を利用した光ファイバ増幅器においては、励起光源として半導体レーザー装置が使用されている。ここで、光ファイバ増幅器の増幅利得は半導体レーザー装置の出力強度に対応するため、励起光源として使用する半導体レーザー装置は高出力のものが望ましい。一方、単位波長あたりの励起光の強度が大きい場合、誘導ブリルアン散乱 (Stimulated Brillouin Scattering) が問題となる。誘導ブリルアン散乱は、単位波長あたりの励起光の強度が大きいほど顕著に生じるため、励起光源を構成する半導体レーザー装置は、複数の発振縦モードを備えたレーザー光を出力するいわゆるマルチモードの半導体レーザー装置が用いられる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、マルチモードの半導体レーザ装置を励起光源として使用した場合、シングルモードの半導体レーザ装置を用いた場合と比較して相対強度雑音（Relative Intensity Noise）の問題が無視できなくなる。

【0007】

ラマン増幅では、光増幅の生じる過程が早く起こるため、励起光強度が揺らぐことによってラマン利得も揺らぎ、増幅された信号光の強度も揺らぎが生じることとなる。従って、相対強度雑音が大きい場合には安定したラマン増幅が行えないという問題が存在する。特に、マルチモードレーザでは、出力直後の相対強度雑音の値は小さいものの、一定の距離だけ伝送した後には相対強度雑音が増加することが知られている。ラマン増幅を利用した光ファイバ増幅器においては、励起光を数十 km 程度伝送させる必要があるため、伝送後の相対強度雑音の増加が著しい場合、特に増幅利得が不安定化することとなる。

【0008】

発振縦モードの数が単数の、例えば DFB（Distributed Feedback）レーザから出力されるレーザ光に関しては、所定距離伝送した後の相対強度雑音の強度は伝送前とそれほど相違しない。従って、相対強度雑音を低減する観点からは発振縦モードの本数を単数とすることで解決は可能である。しかし、発振縦モードが単数の半導体レーザ装置を用いた場合、既に述べたように誘導ブリルアン散乱の発生が問題となるため、DFB 半導体レーザ装置等のシングルモードの半導体レーザ装置を励起光源として使用することは妥当ではない。

【0009】

本発明は、上記従来技術の問題点に鑑みてなされたものであって、複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、相対強度雑音の増加を抑制する半導体レーザ装置、半導体レーザモジュールおよび光ファイバ増幅器を提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するため、請求項1にかかる半導体レーザ装置は、ラマン増幅を利用して光増幅を行い、かつ前方励起方式を採用する光ファイバ増幅器の励起光源として使用される半導体レーザ装置であって、レーザ光の出射側端面に設けられた第1反射膜と該レーザ光の反射側端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層と、前記出射側端面と前記入射側端面とによって形成され、最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードが60本以下存在する光を選択する光共振器とを備えたことを特徴とする。

【0011】

この請求項1の発明によれば、最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードの本数を60本以下としたため、出力されるレーザ光が光伝送路中を所定の距離だけ伝送した後であっても、相対強度雑音の増大を抑制することができる半導体レーザ装置を提供することができる。

【0012】

また、請求項2にかかる半導体レーザ装置は、レーザ光の出射側端面に設けられた第1反射膜と該レーザ光の反射側端面に設けられた第2反射膜との間に形成された活性層を備えた半導体レーザ装置であって、該活性層近傍に配設され、最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードが60本以下存在する光を選択する回折格子を備えたことを特徴とする。

【0013】

この請求項2の発明によれば、回折格子によって最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードの本数を60本以下としたため、出力されるレーザ光が光伝送路中を所定の距離だけ伝送した後であっても、相対強度雑音の増大を抑制することができる半導体レーザ装置を提供することができる。

【0014】

また、請求項3にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子によって選択される発振縦モードの波長が1100 nm以上、1550 nm以下であることを特徴とする。

【0015】

また、請求項4にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折

格子の結合係数と回折格子長との乗算値が 0.3 以下であることを特徴とする。

【0016】

また、請求項 5 にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記回折格子は、グレーティング周期をランダムあるいは所定周期で変化させたことを特徴とする。

【0017】

また、請求項 6 にかかる半導体レーザ装置は、上記の発明において、前記光共振器の共振器長は、 $800\text{ }\mu\text{m}$ 以上であることを特徴とする。

【0018】

また、請求項 7 にかかる半導体レーザモジュールは、請求項 1～6 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置と、前記半導体レーザ装置から出力されたレーザ光を外部に導波する光ファイバと、前記半導体レーザ装置と前記光ファイバと光結合を行う光結合レンズ系とを備えたことを特徴とする。

【0019】

また、請求項 8 にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記半導体レーザ装置の温度を制御する温度制御装置と、前記光結合レンズ系内に配設され、前記光ファイバ側からの反射戻り光の入射を抑制するアイソレータとをさらに備えたことを特徴とする。

【0020】

また、請求項 9 にかかる半導体レーザモジュールは、上記の発明において、前記光ファイバの半導体レーザ装置側の端面は、光出射方向に対して斜めになるよう形成されていることを特徴とする。

【0021】

また、請求項 10 にかかる光ファイバ増幅器は、請求項 1～6 のいずれか一つに記載の半導体レーザ装置もしくは請求項 7～9 のいずれか一つに記載の半導体レーザモジュールを備えた励起光源と、信号光を伝送する光伝送路と、該光伝送路と接続され、ラマン増幅によって光増幅を行う増幅用光ファイバと、前記励起光源から出力される励起光を増幅用光ファイバに入力させるためのカップラと、前記励起光源と前記カップラとを接続する励起光用光伝送路とを備えたことを特徴と

する。

【0022】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して、この発明の実施の形態である半導体レーザ装置、半導体レーザモジュール、光ファイバ増幅器およびWDM光通信システムについて説明する。図面の記載において、同一または類似部分には同一あるいは類似の符号を付し、特に言及しない限り同等の機能を有するものとする。また、図面は模式的なものであって、層の厚みと幅との関係、各層の厚みの比率等は現実のものと異なることに留意する必要がある。さらに、図面の相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることはもちろんである。

【0023】

(実施の形態1)

この発明の実施の形態1について説明する。本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は、複数の発振縦モードを出力する半導体レーザ装置であって、最大強度との差分値が10 dB以内である発振縦モードの本数を60本以下に抑制することで相対強度雑音の強度を低減している。

【0024】

図1は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の概略斜視図を示し、図2は、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の側面断面図を示す。まず、図1および図2を適宜参照して実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を説明する。

【0025】

本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置は、 n -InP基板1上に順次 n -InPバッファ層2、GRIN-SCH-MQW (Graded Index-Separate Confinement Hetero structure Multi Quantum Well: 分布屈折率分離閉じこめ多重量子井戸) 活性層3、 p -InPスペーサ層4が積層されている。ここで、 n -InPバッファ層2の上部領域、GRIN-SCH-MQW活性層3および p -InPスペーサ層4は光出射方向に長手方向を有するメサストライプ状の構造となっており、この構造に隣接して p -InPブロッキング層8、 n -InPブ

ロッキング層 9 が順に積層されている。p-InP スペーサ層 4 および n-InP ブロッキング層 9 上には p-InP クラッド層 6、p-GaInAsP コンタクト層 7 が積層されている。また、p-GaInAsP コンタクト層 7 上には p 側電極 10 が配置され、n-InP 基板 1 の裏面には n 側電極 11 が配置されている。さらに、図 2 で示すように、レーザ光出射端面に出射側反射膜 15 が配置され、レーザ光出射端面と対向する反射端面に反射側反射膜 14 が配置されている。そして、p-InP スペーサ層 4 内には、回折格子 13 が配置されている。

【0026】

n-InP バッファ層 2 は、バッファ層としての機能の他に、クラッド層としての機能を有する。具体的には、n-InP バッファ層 2 は、GRIN-SCH-MQW 活性層 3 の実効屈折率よりも低い屈折率を有することで GRIN-SCH-MQW 活性層 3 から発生する光を縦方向に閉じ込める機能を有する。

【0027】

GRIN-SCH-MQW 活性層 3 は、分布屈折率分離閉じ込め多重量子井戸構造を有し、p 側電極 10 および n 側電極 11 から注入されたキャリアを効果的に閉じ込める機能を有する。GRIN-SCH-MQW 活性層 3 は複数の量子井戸層を有し、各量子井戸層において量子閉じ込め効果を発揮する。この量子閉じ込め効果によって、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置は高い発光効率を有する。

【0028】

p-GaInAsP コンタクト層 7 は、p-InP クラッド層 6 と p 側電極 10 との間をオーミック接合させるためのものである。p-GaInAsP コンタクト層 7 には p 型不純物が大量にドーピングされており、高不純物密度を有することで p 側電極 10 との間でオーミック接触を実現している。

【0029】

p-InP ブロッキング層 8 および n-InP ブロッキング層 9 は、注入された電流を内部で狭窄するためのものである。本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置においては、p 側電極 10 が陽極として機能するため、電圧が印加された際には n-InP ブロッキング層 9 と p-InP ブロッキング層 8 との間には逆

バイアスが印加される。そのため、 n - InP ブロッキング層 9 から p - InP ブロッキング層 8 に対して電流が流れることはなく、 p 側電極 10 から注入された電流は、狭窄されて高い密度で GRIN-SCH-MQW 活性層 3 に流入する。電流が高密度で流入することで、 GRIN-SCH-MQW 活性層 3 におけるキャリア密度が高まり、発光効率を向上させている。

【0030】

反射側反射膜 14 は、反射率 80 パーセント以上、好ましくは 98 パーセント以上の光反射率を有する。一方、出射側反射膜 15 は、出射側端面におけるレーザ光の反射を防止するためのものである。したがって、出射側反射膜 15 は反射率の低い膜構造からなり、光反射率は 5 パーセント以下、望ましくは 1 パーセント程度の膜構造からなる。ただし、出射側反射膜 15 の光反射率は、共振器長に応じて最適化されるため、これら以外の値となる場合もある。

【0031】

回折格子 13 は、 p - GaInAsP からなる。周囲の p - InP スペーサ層 4 と異なる半導体材料から構成されるため、 GRIN-SCH-MQW 活性層 3 から発生した光のうち、所定波長を有する成分については回折格子 13 によって反射されることとなる。この回折格子 13 の存在により、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置は出射するレーザ光が複数の発振縦モードを有する。そして、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置は、回折格子 13 の構造を調整することによって、最大の光強度を有する発振縦モードとの光強度の差分値が 10 dB 以内となる発振縦モードの本数が 60 本以下となるよう構成されている。

【0032】

回折格子 13 は、たとえば、膜厚 20 nm を有し、出射側反射膜 15 の反射端面から反射側反射膜 14 側に向けて長さ $L_g = 50 \mu\text{m}$ の回折格子 13 が設けられ、この回折格子 13 は、ピッチ約 220 nm で周期的に形成され、中心波長 1.48 μm のレーザ光を波長選択する。ここで、回折格子 13 は、回折格子の結合係数 κ と回折格子長 L_g との乗算値を 0.3 以下とすることによって、駆動電流-光出力特性の線形性を良好にし、光出力の安定性を高めている（特願 2001-134545 参照）。また、共振器長 L が 1300 μm の場合、回折格子長

L_g が約 $300\ \mu\text{m}$ 以下のときに複数の発振縦モードで発振するので、回折格子長 L_g は $300\ \mu\text{m}$ 以下とすることが好ましい。ところで、共振器長 L の長短に比例して、発振縦モード間隔も変化するため、回折格子長 L_g は、共振器長 L に比例した値となる。すなわち、(回折格子長 L_g) : (共振器長 L) = $300 : 1300$ の関係を維持するため、回折格子長 L_g が $300\ \mu\text{m}$ 以下で複数の発振縦モードが得られる関係は、

$$L_g \times (1300\ (\mu\text{m}) / L) \leq 300\ (\mu\text{m})$$

として拡張することができる。すなわち、回折格子長 L_g は、共振器長 L との比を保つように設定され、共振器長 L の $(300 / 1300)$ 倍の値以下としている(特願 2001-134545 参照)。

【0033】

つぎに、回折格子 13 を備えたことにより、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置がレーザ発振時に複数の発振縦モードを有する光を選択する理由について説明する。なお、本実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置の発振波長 λ_0 は、 $1100\ \text{nm} \sim 1550\ \text{nm}$ であり、共振器長 L は、 $800\ \mu\text{m}$ 以上 $3200\ \mu\text{m}$ 以下としている。

【0034】

一般に、半導体レーザ装置の共振器によって発生する縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、実効屈折率を「 n 」とすると、次式で表すことができる。すなわち、

$$\Delta\lambda = \lambda_0^2 / (2 \cdot n \cdot L)$$

である。ここで、発振波長 λ_0 を $1480\ \mu\text{m}$ とし、実効屈折率 n を 3.5 とすると、共振器長 L が $800\ \mu\text{m}$ のとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約 $0.39\ \text{nm}$ となり、共振器長が $3200\ \mu\text{m}$ のとき、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は、約 $0.1\ \text{nm}$ となる。すなわち、共振器長 L を長くすればするほど、縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ は狭くなり、単一発振縦モードのレーザ光を発振するための選択

条件が厳しくなる。

【0035】

一方、回折格子13は、そのブラッグ波長によって縦モードを選択する。この回折格子13による選択波長特性は、図3に示す発振波長スペクトル16として表される。図3に示すように、この実施の形態1では、回折格子13を有した半導体レーザ装置による発振波長スペクトル16の半値幅 $\Delta\lambda_h$ で示される波長選択特性内に、発振縦モードを複数存在させるようにしている。従来のDBR (Distributed Bragg Reflector) 半導体レーザ装置あるいはDFB半導体レーザ装置では、共振器長 L を $800\mu\text{m}$ 以上とすると、単一発振縦モード発振が困難であったため、かかる共振器長 L を有した半導体レーザ装置は用いられなかった。しかしながら、この実施の形態1の半導体レーザ装置では、共振器長 L を積極的に $800\mu\text{m}$ 以上とすることによって、発振波長スペクトル16の半値幅 $\Delta\lambda_h$ 内に多数の発振縦モードを含ませてレーザ発振するようにしている。

【0036】

つぎに、最大強度との差分値が10dB以内である発振縦モードの本数を変化させる回折格子13の構造について説明する。まず、回折格子13の回折格子長 L_g あるいは結合係数 κ を変化させる構造が挙げられる。一般に、回折格子長 L_g が減少するにつれて、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ は広くなり、最大強度との差分値が10dB以内である発振縦モードの本数も増大する。所望の発振縦モードを選択するためには、結合係数 κ と回折格子長 L_g との積 $\kappa \cdot L_g$ は一定以上の値を有する必要があるものの、その条件下で回折格子長 L_g の値を変化させることで、発振縦モードの本数を変化させることができる。

【0037】

また、回折格子13のグレーティング周期を変化させることも有効である。図4は、回折格子13のグレーティング周期を周期的に変化させたチャープドグレーティングを用いた例について示す。これによって、回折格子の波長選択特性に揺らぎを発生させ、発振波長スペクトルの半値幅 $\Delta\lambda_h$ を広げて、発振縦モードの本数を変化させることが可能である。すなわち、図5に示すように、半値幅 $\Delta\lambda_h$ を半値幅 w_c に広げたり、逆に半値幅 $\Delta\lambda_h$ を狭めることで発振縦モードの

本数を変化させるようにしている。

【0038】

図4に示すように、回折格子13は、平均周期が220nmであり、 ± 0.02 nmの周期揺らぎ（偏差）を周期Cで繰り返す構造を有している。この ± 0.02 nmの周期揺らぎによって回折格子13の反射帯域は、約2nmの半値幅を有し、これによって、最大強度との差分値が10dB以内である発振縦モードの本数を変化させることができる。

【0039】

また、図4の例では、一定の周期Cでグレーティング周期を変化させるチャープドグレーティングとしたが、これに限らず、グレーティング周期を、周期 Λ_1 ($220\text{nm} + 0.02\text{nm}$) と周期 Λ_2 ($220\text{nm} - 0.02\text{nm}$) との間で、ランダムに変化させるようにしてもよい。

【0040】

さらに、図6(a)に示すように、周期 Λ_1 と周期 Λ_2 とを1回ずつ交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、図6(b)に示すように、周期 Λ_3 と周期 Λ_4 とをそれぞれ複数回、交互に繰り返す回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。さらに、図6(c)に示すように、連続する複数回の周期 Λ_5 と連続する複数回の周期 Λ_6 とをもつ回折格子として、周期揺らぎを持たせるようにしてもよい。また、周期 Λ_1 、 Λ_3 、 Λ_5 と周期 Λ_2 、 Λ_4 、 Λ_6 との間の離散的な異なる値をもつ周期をそれぞれ補完して配置するようにしてもよい。

【0041】

つぎに、本実施の形態1にかかる半導体レーザ装置が相対強度雑音を低減するメカニズムについて説明する。図7～図9は、最大強度との強度の差分値が10dB以内となる発振縦モードの本数を変化させた場合における相対強度の変化を示すグラフである。なお、発振縦モードの本数を変化させるため、図7のグラフに示す測定においてはファブリ・ペロー型共振器を備えた半導体レーザ装置を使用し、図8の測定においてはDFB半導体レーザ装置を使用しているが、かかる構造の相違は測定結果に本質的な影響を与えるものではない。

【0042】

図7～図9において、相対強度雑音の測定は光ファイバ伝送前と、37km伝送後と、74km伝送後において行った。また、レーザ光の伝送に使用した光ファイバは、分散値が0となる波長が1463nmであって、かかる波長近傍における分散値の傾きが $0.0474\text{ ps/nm}^2/\text{km}$ 、モードフィールド径 (Mode Field Diameter) の値が1550nmにおいて $8.5\text{ }\mu\text{m}$ となるルーセント社製のTrue Wave (R) RSファイバを用いている。また、相対強度雑音は500kHz～22GHzの周波数範囲において測定している。さらに、測定対象である半導体レーザ装置は、図7～図9それぞれにおいてMOCVD (Metalorganic Chemical Vapor Deposition) 法によって形成された埋め込みヘテロ構造 (Buried Heterostructure) および多重量子井戸 (Multi Quantum Well) を備える。また、出射側端面および反射側端面上には所定の反射膜を成膜し、出射側端面と反射側端面との間の距離によって規定される共振器長は $1500\text{ }\mu\text{m}$ のものをを用いている。

【0043】

図7のグラフは、最大強度との差分値が10dB以内の発振縦モードの本数が63本となる半導体レーザ装置を用いて相対強度雑音の測定を行った結果を示している。図7において、曲線1₁は光ファイバ中を伝送する前における相対強度雑音の周波数依存性を示し、曲線1₂、曲線1₃はそれぞれ37km伝送後、74km伝送後の相対強度雑音の周波数依存性について示している。

【0044】

図7から明らかなように、伝送前の相対強度雑音に比べ、伝送後の相対強度雑音は著しい増加を示し、特に1GHz程度以下の低周波数領域においては顕著に増大し、0.1～0.2GHzにおいてピークが存在する。また、曲線1₂と曲線1₃とを対比すれば明らかなように、伝送距離が増大するにつれて低周波数領域における相対強度雑音は増加する。

【0045】

図8は、比較のためシングルモードのレーザ光を出力するDFB半導体レーザ装置について相対強度雑音を測定した結果を示す。図8において、曲線1₄は伝

送前における相対強度雑音の周波数依存性を示し、曲線 15 は、37 km 伝送後の相対強度雑音の周波数依存性を示す。なお、DFB 半導体レーザ装置は元来出力強度が低いため、74 km 伝送後のレーザ光の強度が他の半導体レーザ装置に比べ著しく低下し、相対強度雑音に関して信頼性を有するデータを得ることができないことから 74 km 伝送後の相対強度雑音については割愛している。また、DFB 半導体レーザ装置に注入される電流値は 150 mA であって、出力されるレーザ光の中心波長は 1547 nm である。

【0046】

図 8 に示す測定結果からは、DFB 半導体レーザ装置においては相対強度雑音の値は全体に渡って低く抑制されており、伝送後においてもそれほど変化はない。また、図 7 に示すファブリ・ペロー型共振器を用いた半導体レーザ装置と異なり、低周波数領域において相対強度雑音が増加することなく、全体として良好な値を維持している。

【0047】

つぎに、図 9 に示す測定結果について説明する。図 9 の測定において使用した半導体レーザ装置は、活性層近傍に回折格子を設け、かかる回折格子を設けたことによって複数の発振縦モードを有する光を出力する構造を有する。なお、図 9 の測定に使用した半導体レーザ装置の構造の詳細については後で説明する。また、図 9 の測定において半導体レーザ装置に注入された電流値は 900 mA であって、出力されたレーザ光の中心波長は 1501 nm、レーザ光の包絡線に関して、最大強度との差分値が 10 dB となる部分での幅は 3.4 nm である。また、最大強度との差分値が 10 dB 以内の発振縦モードの本数は 18 本である。

【0048】

図 9 において、曲線 16 は伝送前における相対強度雑音の波長依存性を示し、曲線 17、曲線 18 はそれぞれ 37 km 伝送後、74 km 伝送後の相対強度雑音の波長依存性を示す。図 9 に示すように、伝送前と伝送後を対比すると、0.3 GHz ~ 3 GHz の周波数範囲において相対強度雑音が若干増加しているものの、図 7 と比較して相対強度雑音の増加は低い値に抑制されている。具体的には、例えば 0.1 GHz において図 7 では伝送前と伝送後とで 30 ~ 35 dB 程度の差

が見られるが、図 9 の場合相対強度雑音の増加はせいぜい 5 d B 程度に抑制されている。

【0049】

図 7～図 9 に示す測定結果より、最大強度との差分値が 10 d B 以内の発振縦モードの本数が少ないほど、伝送後の相対強度雑音の増加を抑制することができることが明らかである。特に、図 7～図 9 のグラフのうち、伝送前（曲線 1₁、1₄、1₆）における相対強度はほぼ同等の値となるにも関わらず、最大強度との差分値が 10 d B 以内の発振縦モードの本数が相違することで、伝送後の相対強度雑音の値は大きく異なる。

【0050】

図 10～図 12 は、それぞれ図 7～図 9 の測定に使用した半導体レーザ装置から出力されるレーザ光の波長強度特性を示すグラフである。具体的には、例えば、図 10 に示すグラフは、図 7 の測定に使用した半導体レーザ装置から出力されるレーザ光の波長強度特性を示す。

【0051】

測定に用いた半導体レーザ装置は、それぞれ出力されるレーザ光の波長選択を行う構造が相違するため、出力されるレーザ光の波長強度特性が相違する。例えば、図 10 に示すように、図 7 の測定に使用したファブリ・ペロー型共振器を備えた半導体レーザ装置は、波長強度特性の包絡線が比較的なだらかとなる一方、図 11 に示すように、図 8 の測定に使用した DFB 半導体レーザ装置は、単一の発振縦モードのみの強度が高く、他の発振縦モードの強度は低く、本数も少ない。また、図 12 に示すように、図 9 の測定に使用した半導体レーザ装置から出力されるレーザ光は、図 10 に示すファブリ・ペロー型共振器を備えた半導体レーザ装置と比較して発振縦モードの本数は同等であるが、包絡線は中心波長付近で急峻な形状となり、図 10 のグラフと比較して中心波長からはなれた部分における強度は低くなる。このため、例えば図 7 の測定に使用した半導体レーザ装置と図 9 の測定に使用した半導体レーザ装置に注入した電流値は等しいにもかかわらず、所定強度以上の発振縦モードの本数が相違することとなる。

【0052】

所定強度以上の発振縦モードの本数によって長距離伝送後の相対強度雑音の強度が異なる理由については以下のように考えることが可能である。複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力するマルチモードレーザにおいては、従来からモード分配雑音 (Mode Partition Noise) の存在が知られている。モード分配雑音とは、マルチモードレーザにおいて誘導放出された光子が各発振縦モードにランダムに分配することに起因する雑音である。

【0053】

半導体レーザ装置からレーザ光が出力された直後において、個々の発振縦モードの光強度はモード分配雑音によってランダムに揺らいでも、各発振縦モードの光強度の和は半導体レーザ装置に注入された電流、換言すれば注入されたエネルギーに対応した値になる。すなわち、注入されたエネルギーが一定である限り、半導体レーザ装置から出力された直後の各発振縦モードの光強度の和は常に一定となり、出力されたレーザ光全体で考えると、半導体レーザ装置からは揺らぎのない一定の出力が得られる。

【0054】

例えば、図13は、波長 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の3つの発振縦モードを有するレーザ光と、各発振縦モードの和の時間的な揺らぎの一例を示す。時刻 t_1 において、波長 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の各発振縦モードは、各発振縦モードの平均強度に対してそれぞれ揺らぎ Δa_1 、 Δb_1 、 Δc_1 を有し、これらの和($\Delta a_1 + \Delta b_1 + \Delta c_1$)は、互いの平均強度からの揺らぎを相殺してゼロとなる。時刻 t_2 においても、波長 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の各発振縦モードの光強度の揺らぎの和($\Delta a_2 + \Delta b_2 + \Delta c_2$)は相殺されてゼロとなる。このことから、半導体レーザ装置から出力された直後のレーザ光は、各発振縦モードの光強度の和が一定に保たれ、相対強度雑音も低い値となる。

【0055】

しかしながら、光ファイバ等の光伝送路中を伝送するレーザ光は、光伝送路中における波長分散の影響を受け、各発振縦モードの伝搬速度は波長ごとに異なり、各発振縦モードには異なる遅延が生じる。例えば、図14は、図13に示した各発振縦モードが光ファイバ中を所定距離だけ伝送した結果を示している。図1

4に示すように、波長 λ_b の発振縦モードは波長 λ_a の発振縦モードに比べ遅延し、波長 λ_c の発振縦モードは波長 λ_b の発振縦モードに比べて遅延する。この結果、時刻 t_1' における波長 λ_a 、 λ_b 、 λ_c の各発振縦モードの光強度の平均値からの揺らぎの和($\Delta a_1' + \Delta b_1' + \Delta c_1'$)は零とならず、揺らぎ Δe_1 の値を持つこととなる。同様に時刻 t_2' における揺らぎの和($\Delta a_2' + \Delta b_2' + \Delta c_2'$)も零とはならず、 Δe_1 と異なる値 Δe_2 の揺らぎを有することとなる。このように、光伝送路中を伝送したレーザ光の相対強度雑音は、波長分散によって各発振縦モードの和が一定とならず、時間の変化に伴って変動することとなる。

【0056】

かかるモード分配雑音に起因して、マルチモードレーザでは長距離伝送後の相対強度雑音が増加するものと考えることができる。仮にモード分配雑音に起因して相対強度雑音が増加するとした場合、モード分配雑音において、各発振縦モードに対する光子の分配の揺らぎは1GHz程度以下であるため、相対強度雑音の増加も1GHz程度以下の低周波数領域において生じることとなる。このことは、図7、図9に示す相対強度雑音の増加傾向と同様であり、モード分配雑音に起因して相対強度雑音が増加するとした場合と矛盾しない。また、伝送前の相対強度雑音は小さく、長距離伝送した後に相対強度雑音が増加する事実も、モード分配雑音に起因して相対強度雑音が増加することの傍証となる。

【0057】

また、一般に発振縦モードの光強度が大きいほど、相対強度雑音の増加に対するモード分配雑音の影響は大きくなる。これは、光強度の大きい発振縦モードにおける光強度変動の絶対値は光強度の小さい発振縦モードの変動に比して大きくなるため、所定距離伝送した後におけるレーザ光全体の光強度変動が大きくなるためである。

【0058】

このため、本発明においては、複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力するマルチモードレーザにおいて、最大強度との差分値が10dB以内となる発振縦モードの本数が60本以下となるよう半導体レーザ装置を構成している。ここ

で所定強度以上の発振縦モードの本数を60本以下としたのは、本願発明者等が行った測定によって、かかる条件のレーザ光について、光伝送路中を伝送したことによる相対強度雑音の増加を許容範囲内に抑制できることを確認したためである。具体的には、最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードの本数が60本を超えると、伝送後の相対強度雑音が急激に増加するため、本実施の形態1では、所定強度以上の発振縦モードの本数を60本以下としている。なお、図7～図9に示す測定結果からも明らかなように、所定強度以上の発振縦モード本数が少ないほど相対強度雑音の増加を抑制できる。例えば、60本より50本の方が相対強度雑音の増加を抑制でき、順次40本、30本と所定強度以上の発振縦モードの本数を減少させることで伝送後の相対強度雑音の増加を抑制することができることとなる。

【0059】

以上のように、複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力するマルチモードレーザにおいて、最大強度との差分値が10 dB以内となる発振縦モードの本数を60本以下とすることで、長距離伝送による相対強度雑音の増加を抑制することが可能となる。かかる半導体レーザ装置は、例えば、ラマン増幅を利用した光ファイバ増幅器の励起光源として使用した場合に大きな利点を有する。ラマン増幅では励起光の揺らぎに対応してラマン利得が揺らぐため、相対強度雑音を抑制することで増幅される信号光の揺らぎを抑制し、安定したラマン増幅を行うことが可能となるためである。

【0060】

なお、本実施の形態1においては回折格子13によって所定強度以上の発振縦モードの本数を制御することとしたが、本発明において重要なのは所定強度以上の発振縦モードの本数であり、半導体レーザ装置の構造ではない。従って、上記の構造以外、例えばファブリ・ペロー型共振器を採用した半導体レーザ装置であっても、最大強度との差分値が10 dB以内の発振縦モードの本数が60本以下であればよい。特に、所定の活性層を有し、出射側端面と反射側端面によって光共振器を形成するファブリ・ペロー型共振器を採用した半導体レーザ装置は、前方励起方式を採用したラマン増幅器における励起光源としての用途が近年有望視

されている。このため、発振縦モードの本数を制限したものをを用いた場合、相対強度雑音が小さく、従って励起される信号光の強度の揺らぎが少なく、安定したラマン増幅を行うことが可能となるという利点を有する。

【0061】

また、半導体レーザ装置の構造について、導電型を逆にしても良いし、図1に示すようなBH構造のレーザではなく、リッジレーザやSAS (Self Aligned Structure：自己整合構造) 型レーザとしても良い。さらに、回折格子13の位置についてもGRIN-SCH-MQW活性層3の上部領域のみならず、下部領域でも良い。さらに、回折格子13は、レーザ発振時に光が分布する領域であれば原則としてどこでも配置可能である。また、回折格子13の水平方向の幅について、全面的にグレーティングを配置しても良いし、部分的に配置しても良い。さらに、活性層については必ずしもGRIN-SCH-MQW構造とする必要はなく、単純なダブルヘテロ構造としても良いし、ホモ接合レーザとしても良い。また、多重量子井戸構造とはせずに単一量子井戸を用いても良い。

【0062】

(実施の形態2)

つぎに、この発明の実施の形態2について説明する。この実施の形態2では、上述した実施の形態1で示した半導体レーザ装置をモジュール化したものである。

【0063】

図15は、この発明の実施の形態2である半導体レーザモジュールの構成を示す側面断面図である。図15において、この半導体レーザモジュールは、上述した実施の形態1で示した半導体レーザ装置に対応する半導体レーザ装置31を有する。半導体レーザモジュールの筐体として、Cu-W合金などによって形成されたパッケージ39の内部底面上に、温度制御装置としてのペルチェモジュール38が配置される。ペルチェモジュール38上にはベース37が配置され、このベース37上にはヒートシンク37aが配置される。ペルチェモジュール38には、図示しない電流が与えられ、その極性によって冷却および加熱を行うが、半導体レーザ装置31の温度上昇による発振波長ずれを防止するため、主として冷

却器として機能する。すなわち、ペルチェモジュール 38 は、レーザ光が所望の波長に比して長い波長である場合には、冷却して低い温度に制御し、レーザ光が所望の波長に比して短い波長である場合には、加熱して高い温度に制御する。この温度制御は、具体的に、ヒートシンク 37 a 上であって、半導体レーザ装置 31 の近傍に配置されたサーミスタ 38 a の検出値をもとに制御され、図示しない制御装置は、通常、ヒートシンク 37 a の温度が一定に保たれるようにペルチェモジュール 38 を制御する。また、図示しない制御装置は、半導体レーザ装置 31 の駆動電流を上昇させるに従って、ヒートシンク 37 a の温度が下がるようにペルチェモジュール 38 を制御する。このような温度制御を行うことによって、半導体レーザ装置 31 の波長安定性を向上させることができ、歩留まりの向上にも有効となる。なお、ヒートシンク 37 a は、たとえばダイヤモンドなどの高熱伝導率をもつ材質によって形成することが望ましい。これは、ヒートシンク 37 a がダイヤモンドで形成されると、高電流注入時の発熱が抑制されるからである。この場合、波長安定性がさらに向上し、しかも温度制御も容易になる。

【0064】

ベース 37 上には、半導体レーザ装置 31 およびサーミスタ 38 a を配置したヒートシンク 37 a、第 1 レンズ 32、およびモニタフォトダイオード 36 が配置される。半導体レーザ装置 31 から出射されたレーザ光は、第 1 レンズ 32、アイソレータ 33、および第 2 レンズ 34 を介し、光ファイバ 35 上に導波される。第 2 レンズ 34 は、レーザ光の光軸上であって、パッケージ 39 上に設けられ、外部接続される光ファイバ 35 に光結合される。なお、モニタフォトダイオード 36 は、半導体レーザ装置 31 の反射膜側から漏れた光をモニタ検出する。

【0065】

ここで、この半導体レーザモジュールでは、他の光学部品などによる反射戻り光が共振器内に再入力しないように、半導体レーザ装置 31 と光ファイバ 35 との間にアイソレータ 33 を介在させている。このアイソレータ 33 にはインライン式の偏波無依存型でなく、小型の偏波依存型アイソレータを用いることができるため、アイソレータによる挿入損失を小さくすることができ、低コスト化できる。

【0066】

また、光ファイバ35端面における反射戻り光が半導体レーザ装置31に再入力することを避けるため、光ファイバ35の端面は光出射方向に対して斜めになるように形成されていることが好ましい。光ファイバ35の端面を斜めに形成することで、光ファイバ35の端面で反射した光はレーザ光出射方向に対して斜めに進行し、半導体レーザ装置31に再入力することはない。

【0067】

また、実施の形態2では、実施の形態1で示した半導体レーザ装置をモジュール化しているため、発振縦モードの本数が60本以下のレーザ光を出力することができる。このため、長距離伝送した後であってもモード分配雑音に起因した相対強度雑音の増加を抑制することができるという利点を有する。

【0068】

(実施の形態3)

つぎに、実施の形態3にかかる光ファイバ増幅器について説明する。本実施の形態3は、上述した実施の形態2に示した半導体レーザモジュールをラマン増幅器に適用したものである。

【0069】

図16は、この発明の実施の形態3であるラマン増幅器の構成を示すブロック図である。このラマン増幅器は、WDM通信システムに用いられる。図16において、このラマン増幅器は、上述した実施の形態2に示した半導体レーザモジュールと同一構成の半導体レーザモジュール40a～40dを用いた構成となっている。

【0070】

各半導体レーザモジュール40a、40bは、偏波面保持ファイバ51を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カップラ41aに出力し、各半導体レーザモジュール40c、40dは、偏波面保持ファイバ51を介して、複数の発振縦モードを有するレーザ光を偏波合成カップラ41bに出力する。ここで、半導体レーザモジュール40a、40bが発振するレーザ光は、同一波長である。また、半導体レーザモジュール40c、40dが発振するレーザ光は、同

一波長であるが半導体レーザモジュール 40 a、40 bが発振するレーザ光の波長とは異なる。これは、ラマン増幅が偏波依存性を有するためであり、偏波合成カップラ 41 a、41 bによって偏波依存性が解消されたレーザ光として出力するようにしている。

【0071】

各偏波合成カップラ 41 a、41 bから出力された、異なる波長をもったレーザ光は、WDMカップラ 42によって合成され、合成されたレーザ光は、WDMカップラ 45を介してラマン増幅用の励起光として増幅用ファイバ 44に出力される。この励起光が入力された増幅用ファイバ 44には、増幅対象の信号光が入力され、ラマン増幅される。

【0072】

増幅用ファイバ 44内においてラマン増幅された信号光（増幅信号光）は、WDMカップラ 45およびアイソレータ 46を介してモニタ光分配用カップラ 47に入力される。モニタ光分配用カップラ 47は、増幅信号光の一部を制御回路 48に出力し、残りの増幅信号光を出力光として信号光出力ファイバ 50に出力する。

【0073】

制御回路 48は、入力された一部の増幅信号光をもとに各半導体レーザモジュール 40 a～40 dのレーザ出力状態、たとえば光強度を制御し、ラマン増幅の利得帯域が平坦な特性となるようにフィードバック制御する。

【0074】

この実施の形態 3に示したラマン増幅器では、実施の形態 1で示した半導体レーザ装置が内蔵された半導体レーザモジュール 40 aを用いるようにしている。なお、上述したように、各半導体レーザモジュール 40 a～40 dは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長を短くすることができる。この結果、ラマン増幅器の小型軽量化とコスト削減を実現することができる。

【0075】

なお、図 16に示したラマン増幅器では、偏波合成カップラ 41 a、41 bを用いているが、図 17に示すように半導体レーザモジュール 40 a、40 cから、それぞれ偏波面保持ファイバ 51を介して直接WDMカップラ 42に光出力するよ

うにしてもよい。この場合、半導体レーザモジュール40a、40cの偏波面は、偏波面保持ファイバ51に対して45度となるように入射する。ここで、上述したように、各半導体レーザモジュール40a、40cは、複数の発振縦モードを有しているため、偏波面保持ファイバ長51を短くすることができる。これによって、偏波面保持ファイバ51から出力される光出力の偏波依存性をなくすことができ、一層、小型かつ部品点数の少ないラマン増幅器を実現することができる。

【0076】

また、半導体レーザモジュール40a～40dに内蔵される半導体レーザ装置として発振縦モード数が多い半導体レーザ装置を用いると、必要な偏波面保持ファイバ51の長さを短くすることができる。特に、発振縦モードが4、5本になると、急激に、必要な偏波面保持ファイバ51の長さが短くなるため、ラマン増幅器の簡素化と小型化を促進することができる。さらに、発振縦モードの本数が増大すると、コヒーレント長が短くなり、デポラライズによって偏光度(DOP: Degree Of Polarization)が小さくなり、偏波依存性をなくすことが可能となり、これによっても、ラマン増幅器の簡素化と小型化とを一層促進することができる。

【0077】

さらに、このラマン増幅器では、光軸合わせが容易であり、共振器内に機械的な光結合がないため、この点からも、ラマン増幅の安定性、信頼性を高めることができる。

【0078】

さらに、上述した実施の形態1の半導体レーザ装置は、最大強度との差分値が10dB以内の発振縦モードの本数が60本以下となるよう構成されているため、ラマン増幅器内において励起光が長距離伝送した場合であってもモード分配雑音に起因した相対強度雑音の増加を抑制でき、安定したラマン利得を得ることができる。

【0079】

なお、図16および図17に示したラマン増幅器は、後方励起方式であるが、

上述したように、半導体レーザモジュール40a～40dが安定した励起光を出力するため、前方励起方式であっても、双方向励起方式であっても、安定したラマン増幅を行うことができる。

【0080】

たとえば、図18は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図18に示したラマン増幅器は、図16に示したラマン増幅器にWDMカプラ45'をアイソレータ43の近傍に設けている。このWDMカプラ45'には、半導体レーザモジュール40a～40d、偏波合成カプラ41a、41bおよびWDMカプラ42にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール40a'～40d'、偏波合成カプラ41a'、41b'およびWDMカプラ42'を有した回路が接続され、WDMカプラ42'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'～40d'は、上述した実施の形態2で用いられる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0081】

同様に、図19は、前方励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図19に示したラマン増幅器は、図17に示したラマン増幅器にWDMカプラ45'をアイソレータ43の近傍に設けている。このWDMカプラ45'には、半導体レーザモジュール40a、40cおよびWDMカプラ42にそれぞれ対応した半導体レーザモジュール40a'、40c'およびWDMカプラ42'を有した回路が接続され、WDMカプラ42'から出力される励起光を信号光と同じ方向に出力する前方励起を行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'、40c'は、上述した実施の形態2で用いられる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0082】

また、図20は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図20に示したラマン増幅器は、図16に示したラマン増幅器の構成に、図18に示したWDMカプラ45'、半導体レーザモジュール40a'～

40d'、偏波合成カップラ41a'、41b'およびWDMカップラ42'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'～40d'は、上述した実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0083】

同様に、図21は、双方向励起方式を採用したラマン増幅器の構成を示すブロック図である。図21に示したラマン増幅器は、図17に示したラマン増幅器の構成に、図19に示したWDMカップラ45'、半導体レーザモジュール40a'、40c'およびWDMカップラ42'をさらに設け、後方励起と前方励起とを行う。この場合、半導体レーザモジュール40a'、40c'は、上述した実施の形態2にかかる半導体レーザモジュールを用いているため、RINが小さく、前方励起を効果的に行うことができる。

【0084】

なお、上述した前方励起方式あるいは双方向励起方式における前方励起に用いられるラマン増幅用光源は、共振器長Lが800 μ m未満であってもよい。共振器長Lを800 μ m未満とすると、上述したように発振縦モードのモード間隔 $\Delta\lambda$ が狭くなり、ラマン増幅用光源として用いる場合に発振縦モードの本数が少なくなり、大きな光出力を得ることができなくなるが、前方励起は後方励起に比較して低出力で済むため、必ずしも共振器長Lが800 μ m以上である必要はない。

【0085】

上述した図16～図21に示したラマン増幅器は、上述したようにWDM通信システムに適用することができる。図22は、図16～図21に示したラマン増幅器を適用したWDM通信システムの概要構成を示すブロック図である。

【0086】

図22において、複数の送信機Tx1～Txnから送出された波長 λ_1 ～ λ_n の光信号は、光合波器60によって合波され、1つの光ファイバ65に集約される。この光ファイバ65の伝送路上には、図16～図21に示したラマン増幅器に対応した複数のラマン増幅器61、63が距離に応じて配置され、減衰した光信

号を増幅する。この光ファイバ65上を伝送した信号は、光分波器64によって、複数の波長 $\lambda_1 \sim \lambda_n$ の光信号に分波され、複数の受信機Rx1～Rxnに受信される。なお、光ファイバ65上には、任意の波長の光信号の付加、取り出しをおこなうADM (Add/Drop Multiplexer) が挿入される場合もある。

【0087】

なお、上述した実施の形態3では、実施の形態1に示した半導体レーザ装置あるいは実施の形態2に示した半導体レーザモジュールを、ラマン増幅用の励起光源に用いる場合を示したが、これに限らず、たとえば、 $0.98\mu\text{m}$ などのEDFA励起用光源として用いることができるのは明らかである。

【0088】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば、複数の発振縦モードを有するレーザ光を出力する半導体レーザ装置において、最大強度との差分値が10dB以内となる発振縦モードの本数を60本以下に制限することで、所定距離だけ伝送した後に関強度雑音の強度が増加することを抑制することができるという効果を奏する。

【0089】

また、かかる半導体レーザ装置を励起光源としてラマン増幅を用いた光ファイバ増幅器を構成した場合、励起光の揺らぎを抑制することが可能となり、安定した増幅利得を有する光ファイバ増幅器を実現できるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】

実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を示す概略斜視図である。

【図2】

実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の構造を示す側面断面図である。

【図3】

実施の形態1にかかる半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図4】

実施の形態1において回折格子の構造の一例を示す図である。

【図 5】

実施の形態 1 にかかる半導体レーザ装置の発振波形を示す模式図である。

【図 6】

実施の形態 1 において回折格子の構造の他の例を示す図である。

【図 7】

最大強度との差分値が 10 dB 以内の発振縦モードの本数が 63 本であるレーザ光における相対強度雑音の周波数依存性を示すグラフである。

【図 8】

シングルモードのレーザ光における相対強度雑音の周波数依存性を示すグラフである。

【図 9】

最大強度との差分値が 10 dB 以内の発振縦モードの本数が 18 本であるレーザ光における相対強度雑音の周波数依存性を示すグラフである。

【図 10】

図 7 の測定に用いたレーザ光の波長強度依存性を示すグラフである。

【図 11】

図 8 の測定に用いたレーザ光の波長強度依存性を示すグラフである。

【図 12】

図 9 の測定に用いたレーザ光の波長強度依存性を示すグラフである。

【図 13】

レーザ光の出力直後において、モード分配雑音が生じていないことを説明する図である。

【図 14】

レーザ光が所定距離伝送した後に、モード分配雑音が生じることを説明する図である。

【図 15】

実施の形態 2 にかかる半導体レーザモジュールの構造を示す側面断面図である。

【図 16】

実施の形態 3 にかかる光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 17】

実施の形態 3 にかかる光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図 18】

実施の形態 3 にかかる光ファイバ増幅器の変形例であって、前方励起方式を採用した光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 19】

図 18 に示した光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図 20】

実施の形態 3 にかかる光ファイバ増幅器の変形例であって、双方向励起方式を採用した光ファイバ増幅器の構成を示すブロック図である。

【図 21】

図 20 に示した光ファイバ増幅器の応用例を示すブロック図である。

【図 22】

実施の形態 3 にかかる光ファイバ増幅器を用いた WDM 通信システムの概要構成を示すブロック図である。

【符号の説明】

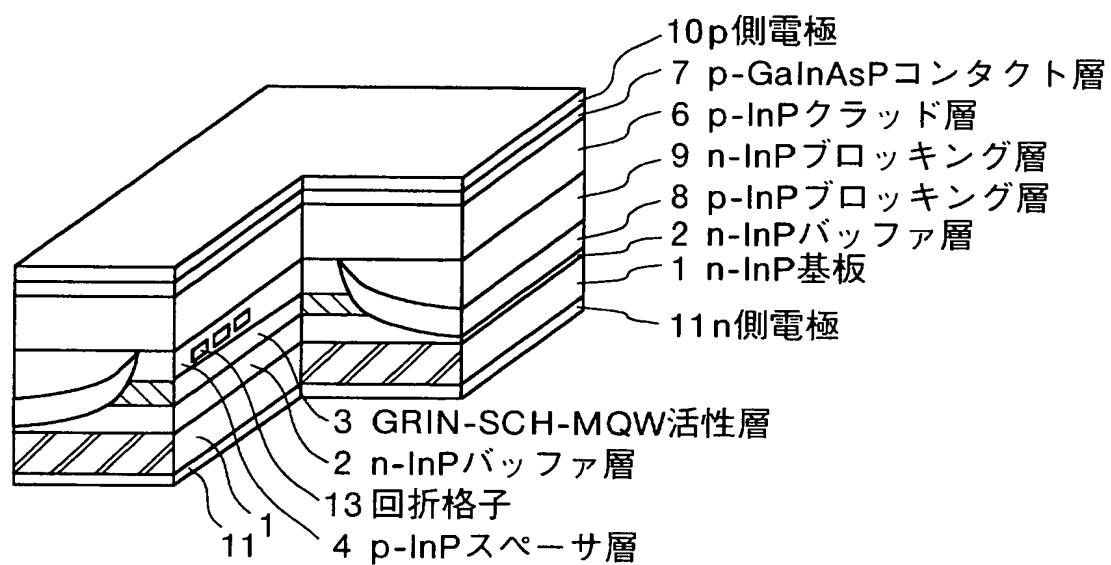
- 1 n-I n P 基板
- 2 n-I n P バッファ層
- 3 G R I N-S C H-M Q W 活性層
- 4 p-I n P スペーサ層
- 6 p-I n P クラッド層
- 7 p-G a I n A s P コンタクト層
- 8 p-I n P ブロッキング層
- 9 n-I n P ブロッキング層
- 10 p 側電極
- 11 n 側電極
- 13 回折格子
- 14 反射側反射膜

- 1 5 出射側反射膜
- 1 6 発振波長スペクトル
- 1 7 ~ 1 9 発振縦モード
- 2 1 カプラ
- 2 2 半導体レーザ装置
- 2 3 反射光測定手段
- 2 4 伝送用光ファイバ
- 2 5 入力光測定手段
- 2 6 出力光測定手段
- 3 1 半導体レーザ装置
- 3 2 レンズ
- 3 3 アイソレータ
- 3 4 レンズ
- 3 5 光ファイバ
- 3 6 モニタフォトダイオード
- 3 7 a ヒートシンク
- 3 7 ベース
- 3 8 a サーミスタ
- 3 8 ペルチェモジュール
- 3 9 パッケージ
- 4 0 a ~ 4 0 d 半導体レーザモジュール
- 4 1 a、4 1 b 偏波合成カプラ
- 4 2、4 5 WDMカプラ
- 4 3 アイソレータ
- 4 4 増幅用ファイバ
- 4 6 アイソレータ
- 4 7 モニタ光分配用カプラ
- 4 8 制御回路
- 5 0 信号光出力ファイバ

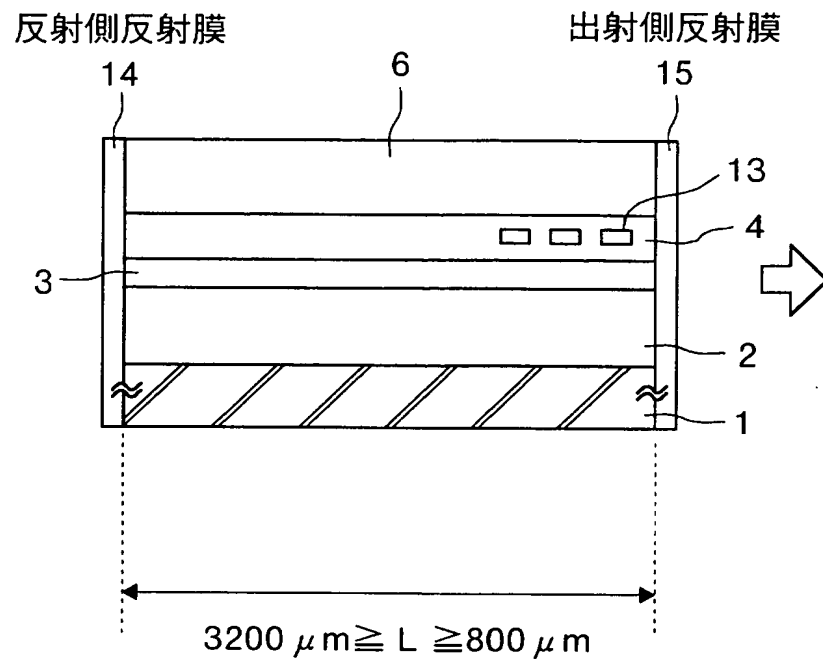
- 5 1 偏波面保持ファイバ
- 6 0 光合波器
- 6 1 ラマン増幅器
- 6 4 光分波器
- 6 5 光ファイバ

【書類名】 図面

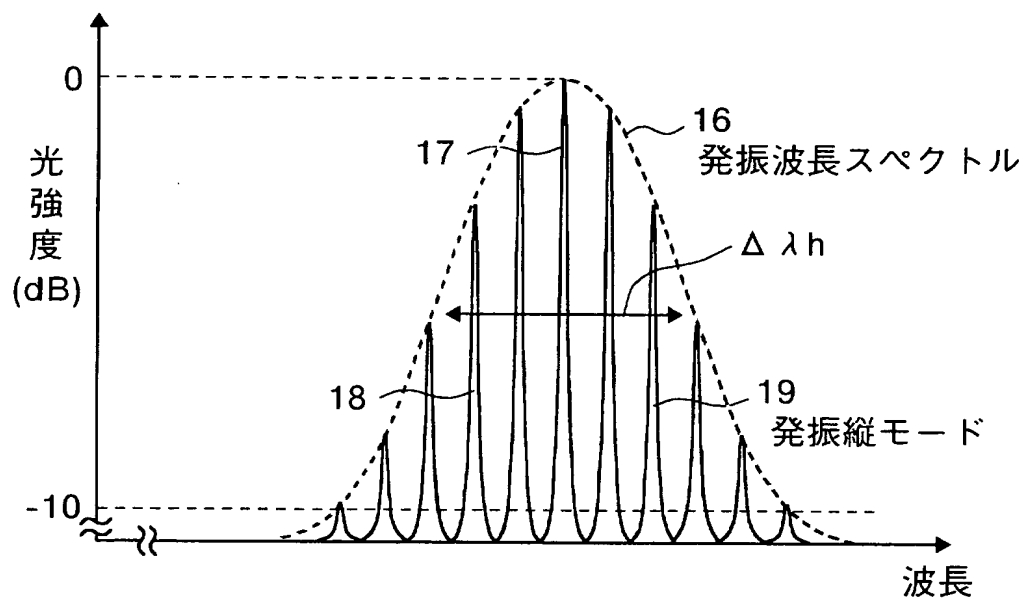
【図 1】



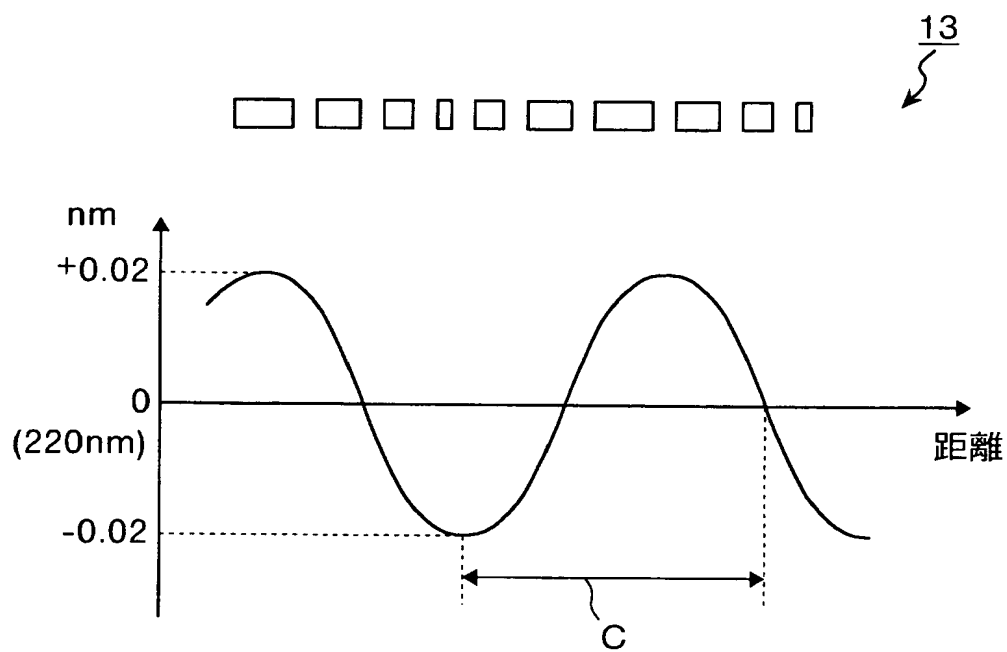
【図 2】



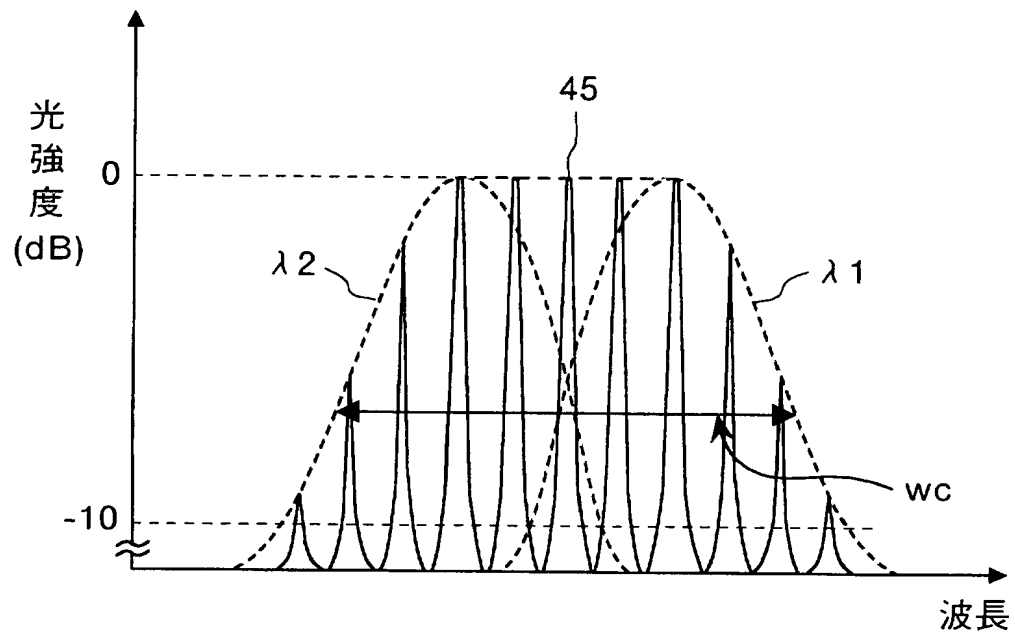
【図 3】



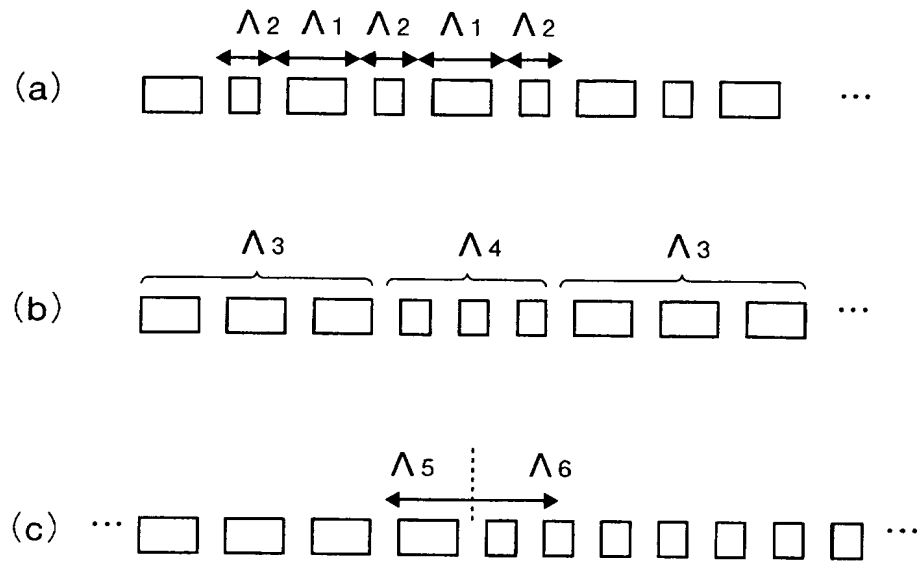
【図 4】



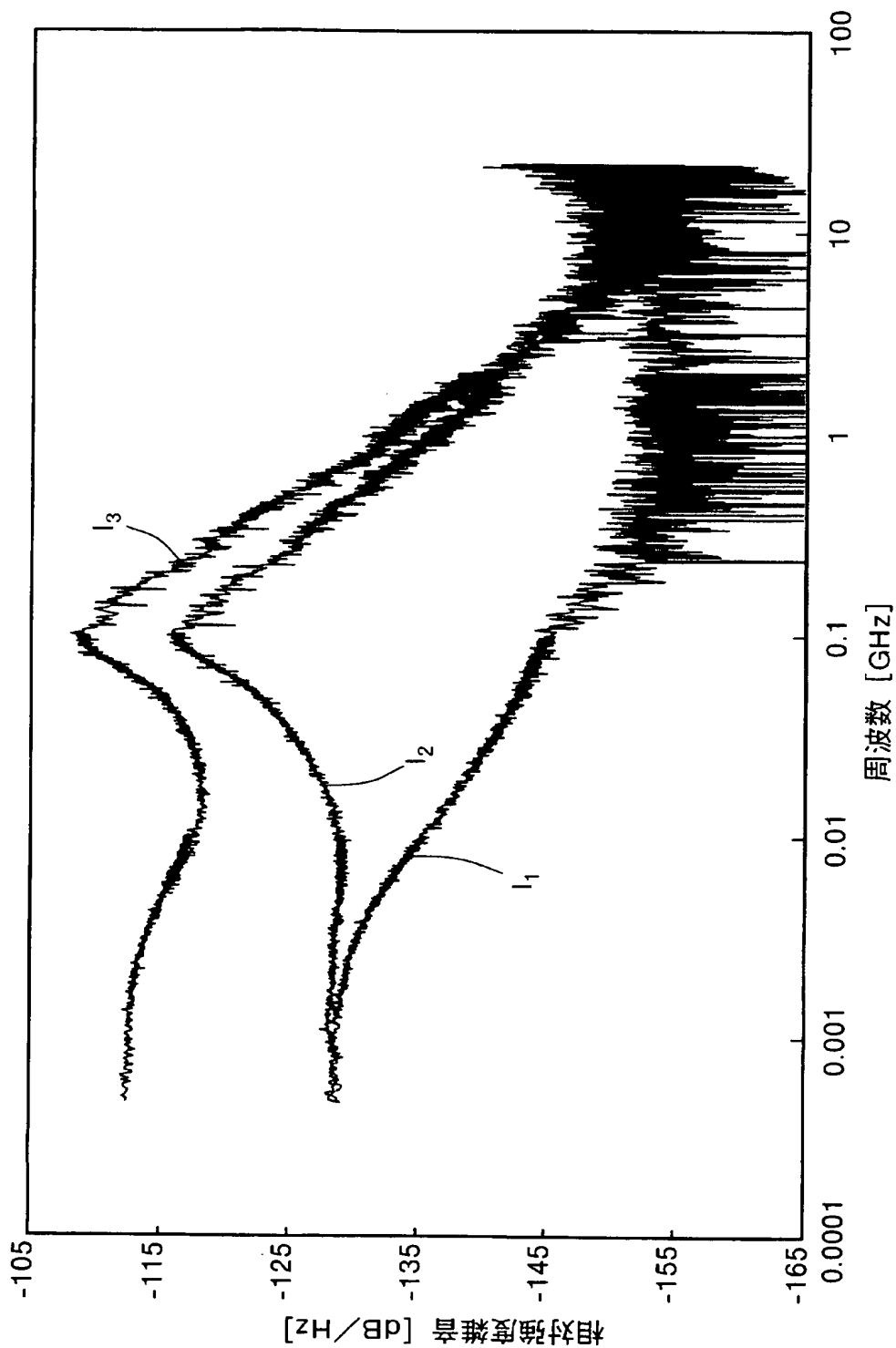
【図 5】



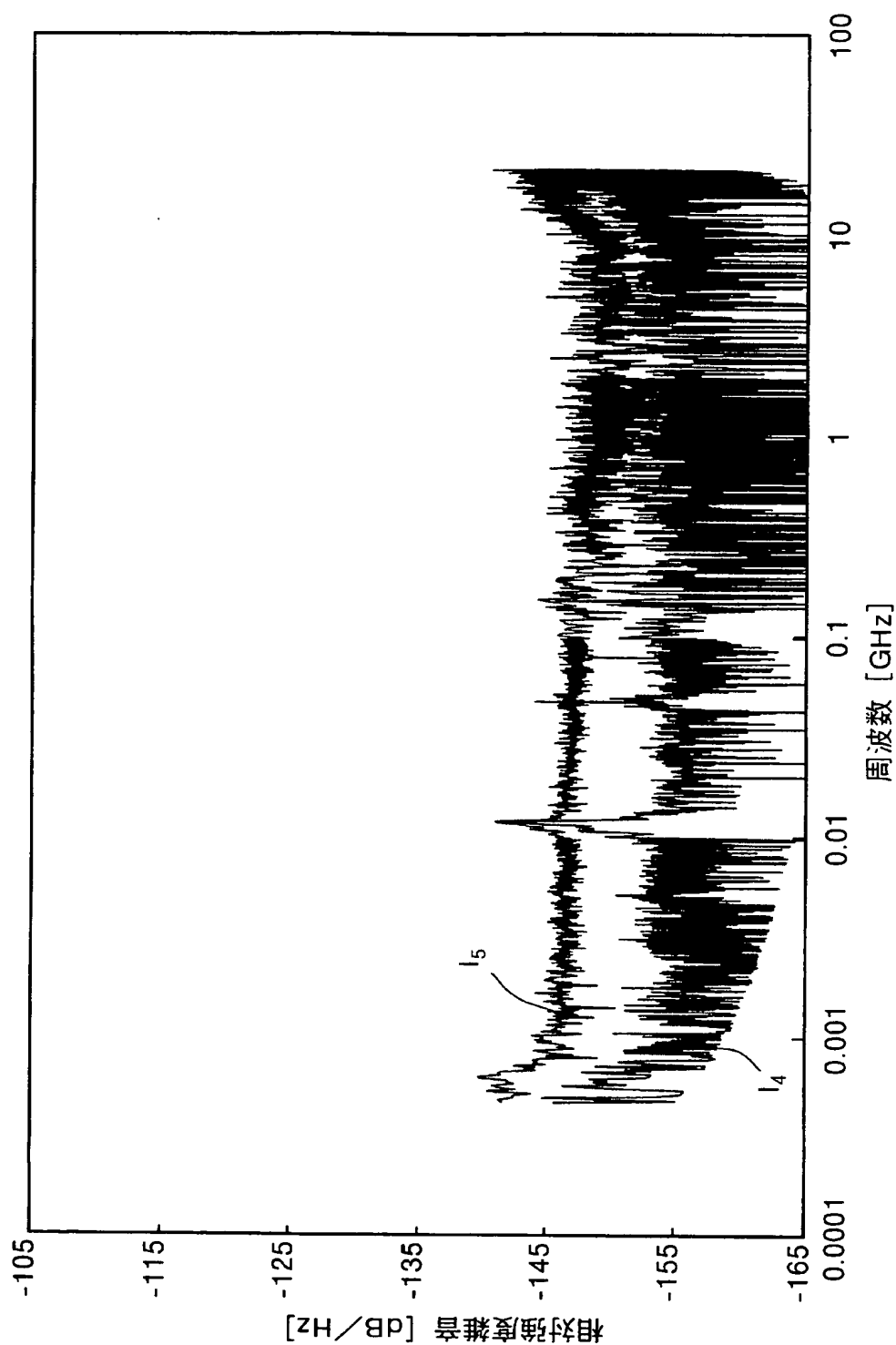
【図 6】



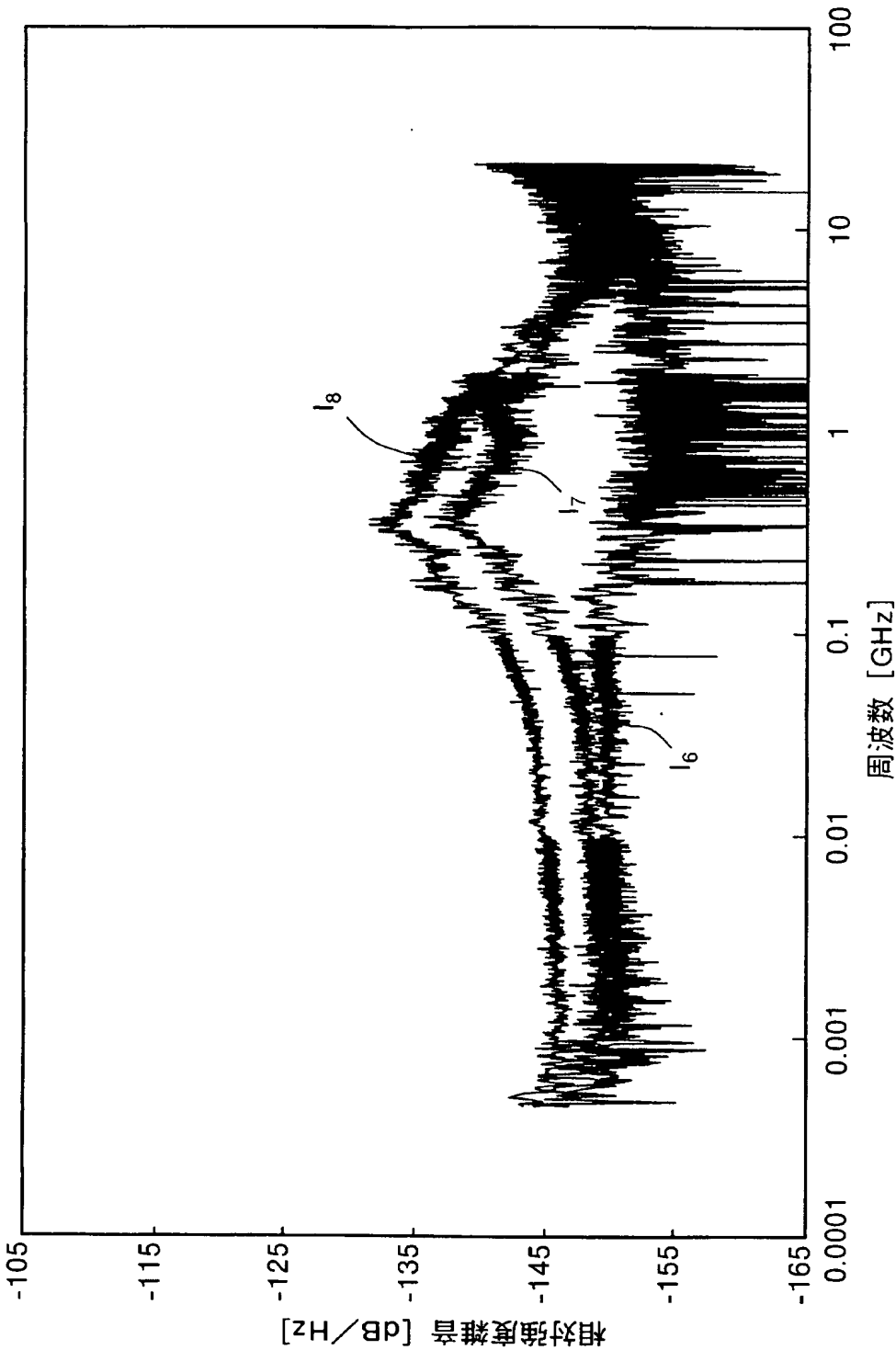
【図 7】



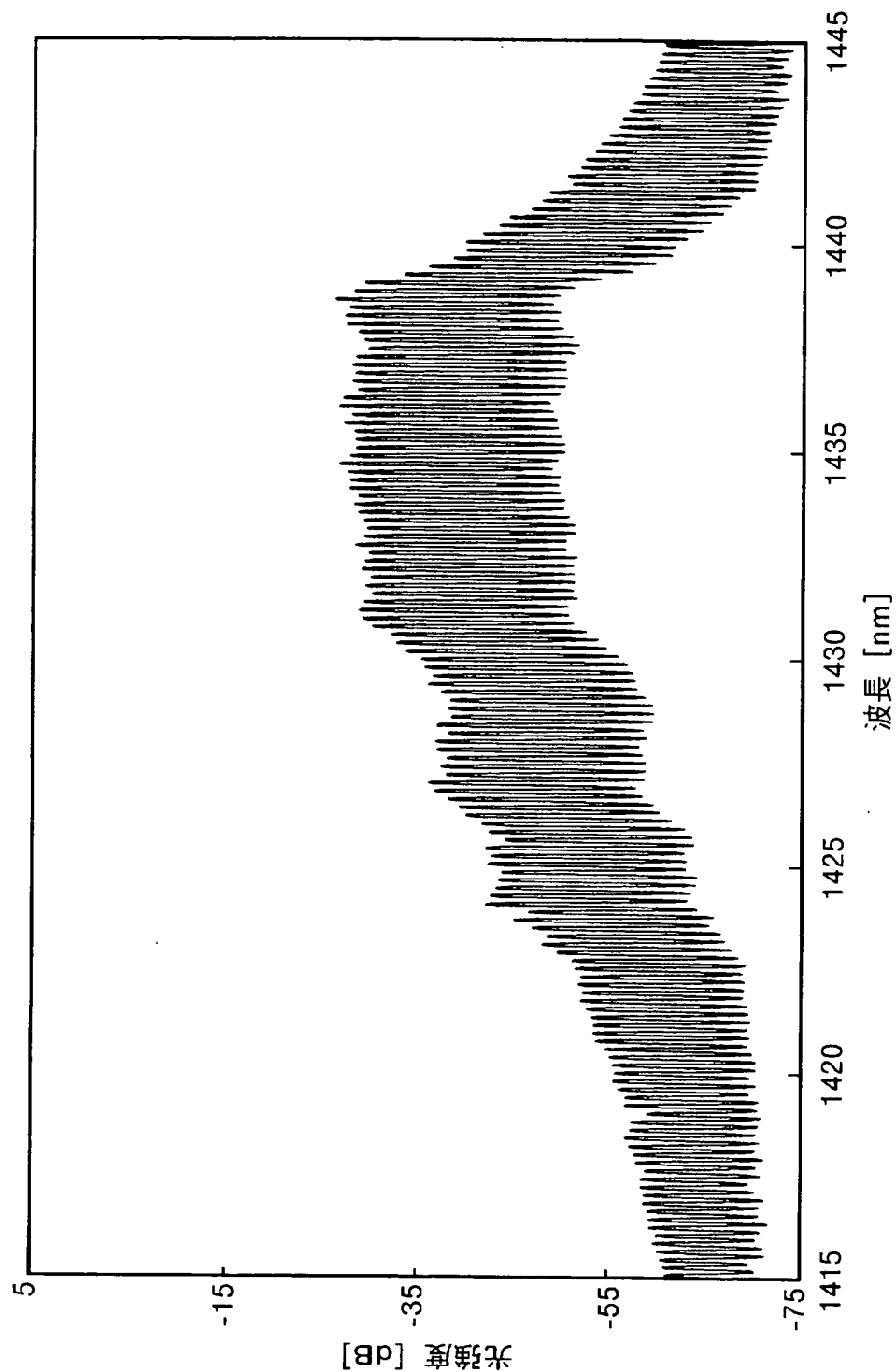
【図 8】



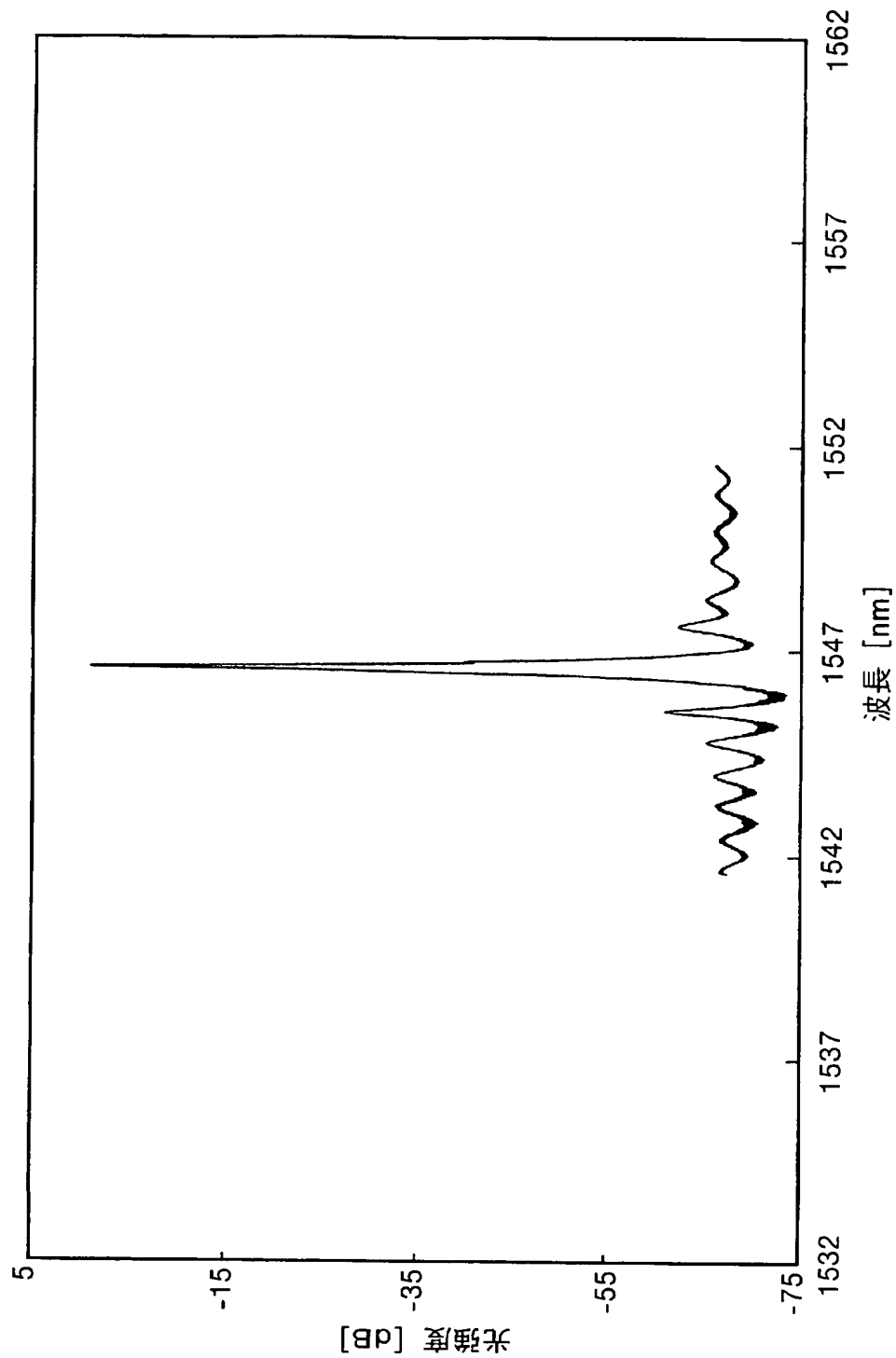
【図 9】



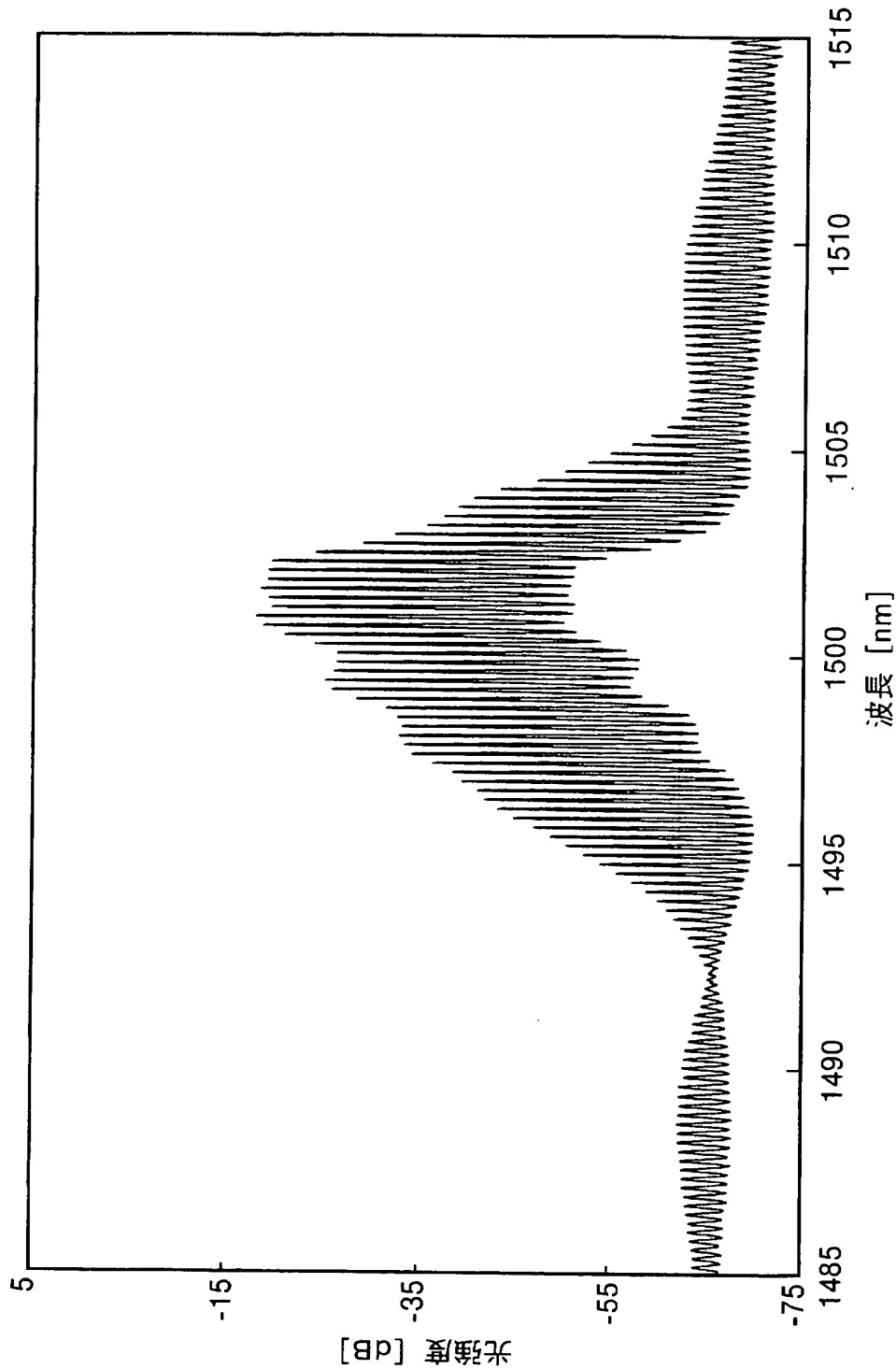
【図 10】



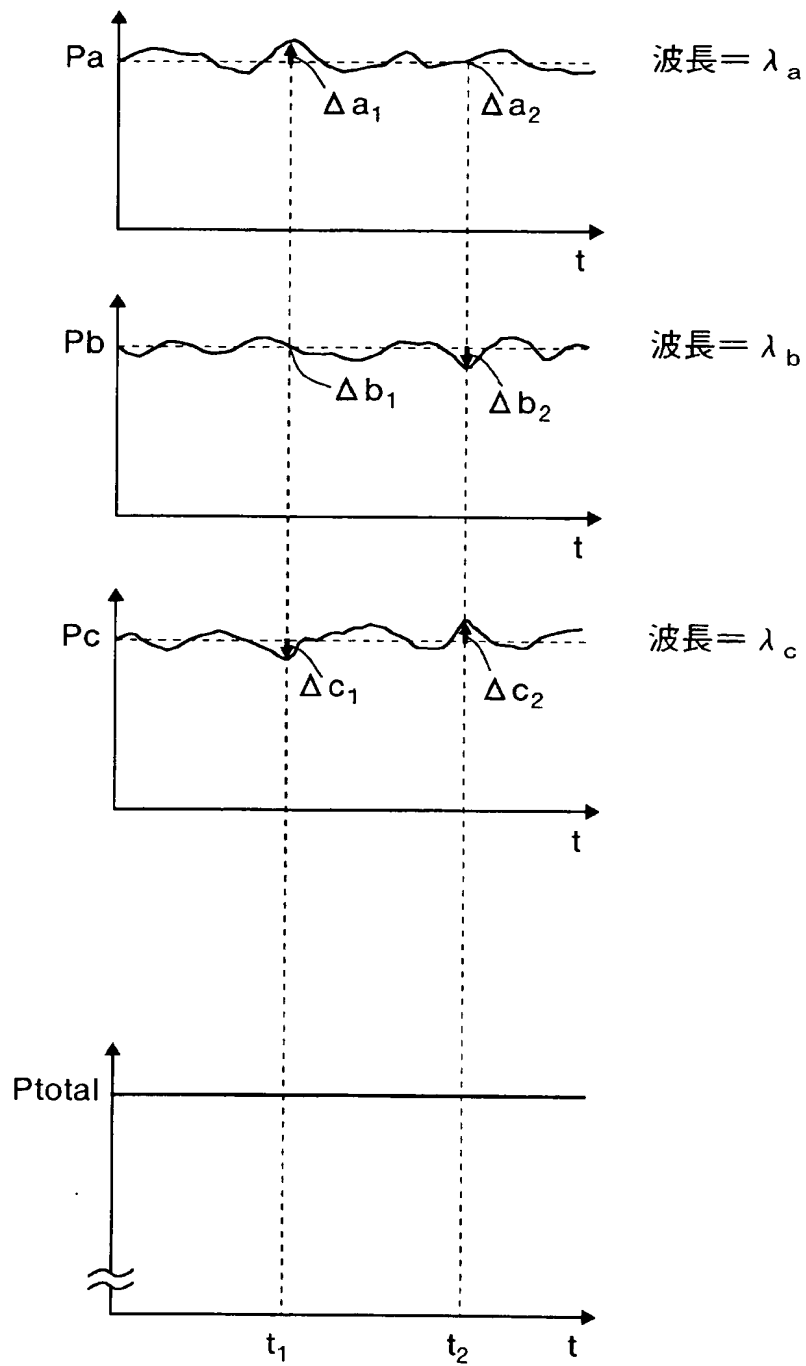
【図 11】



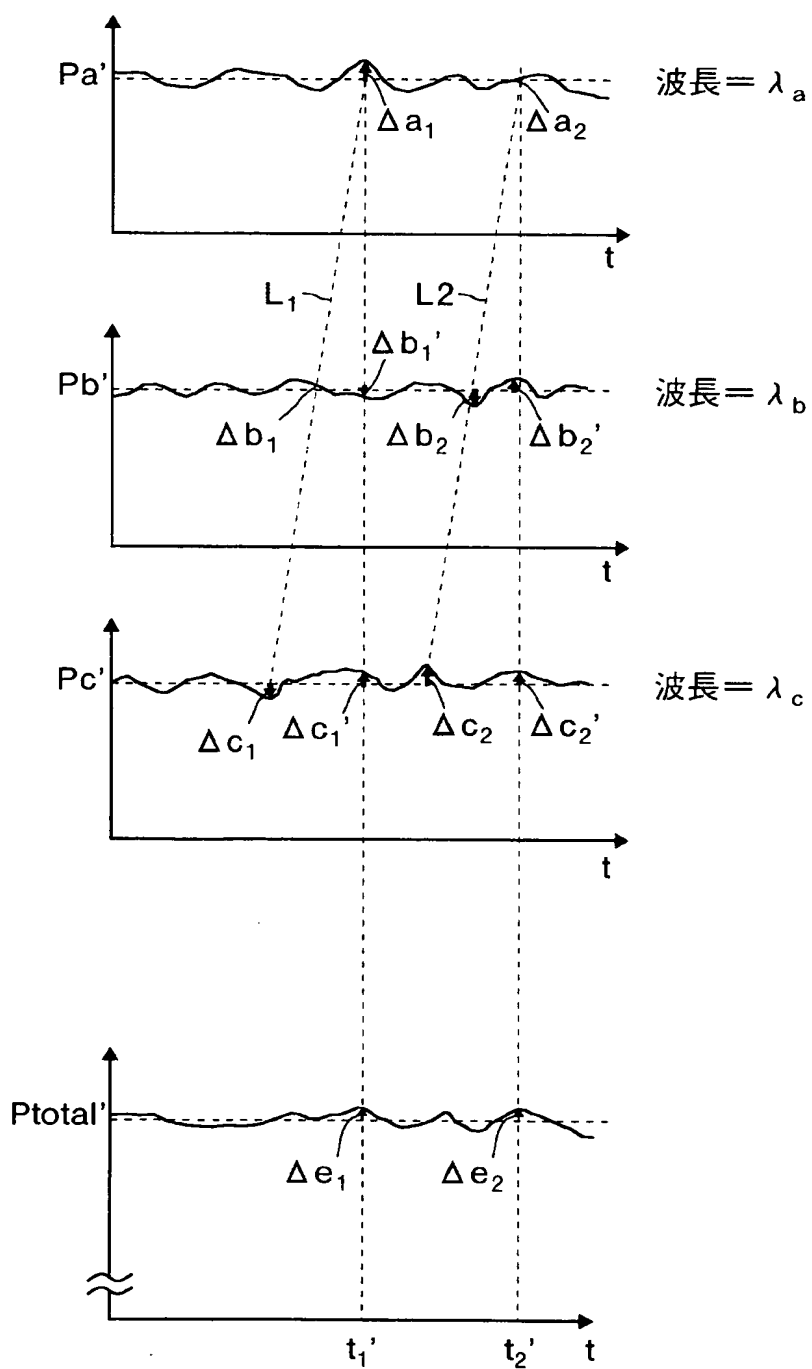
【図 12】



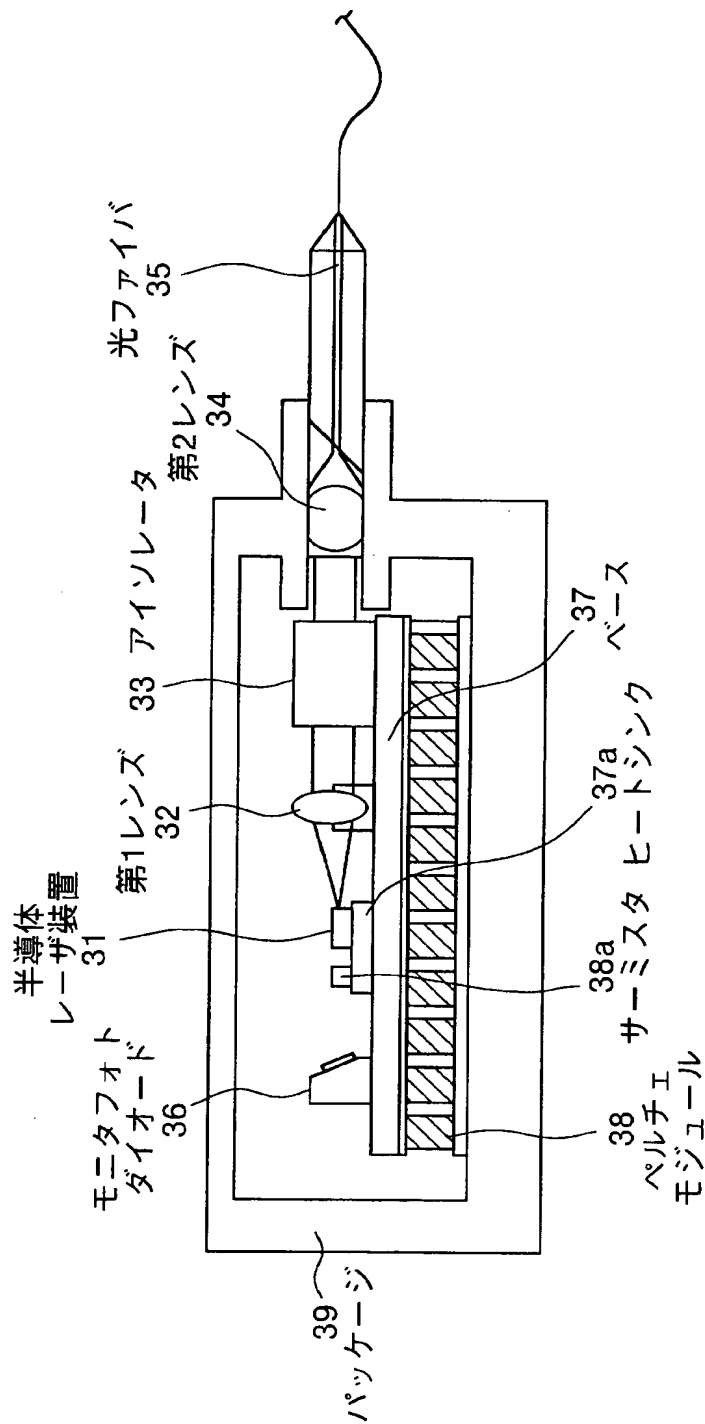
【図 13】



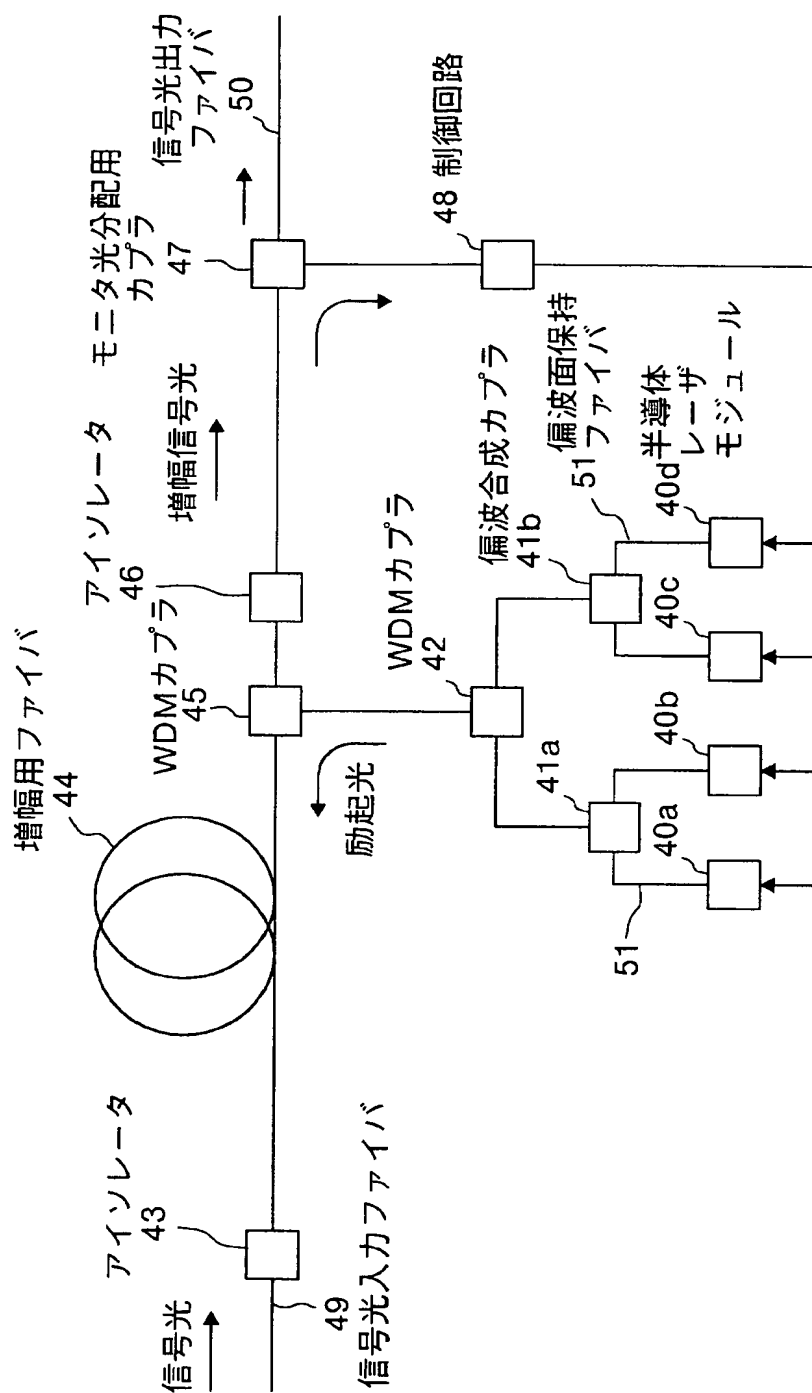
【図 14】



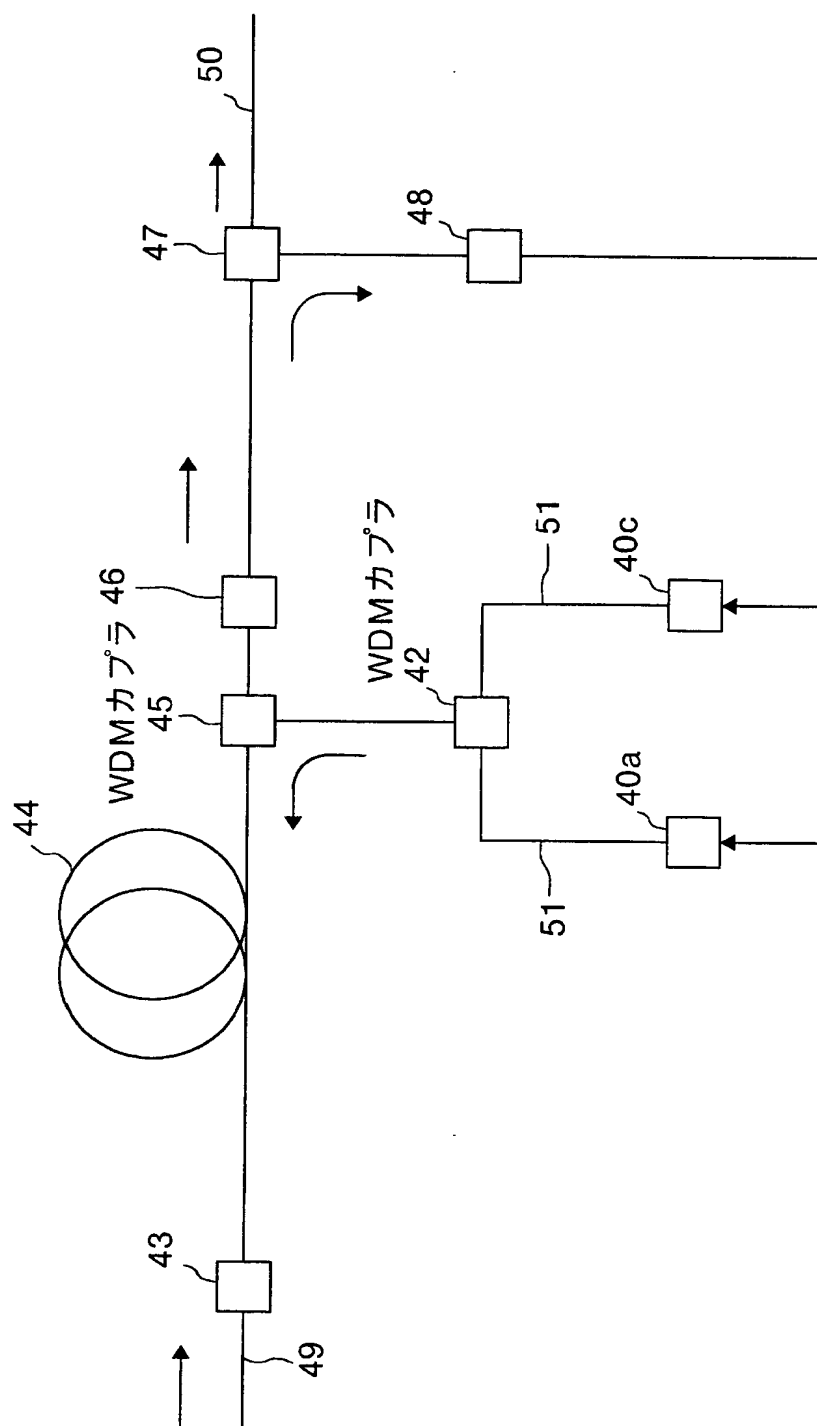
【図 15】



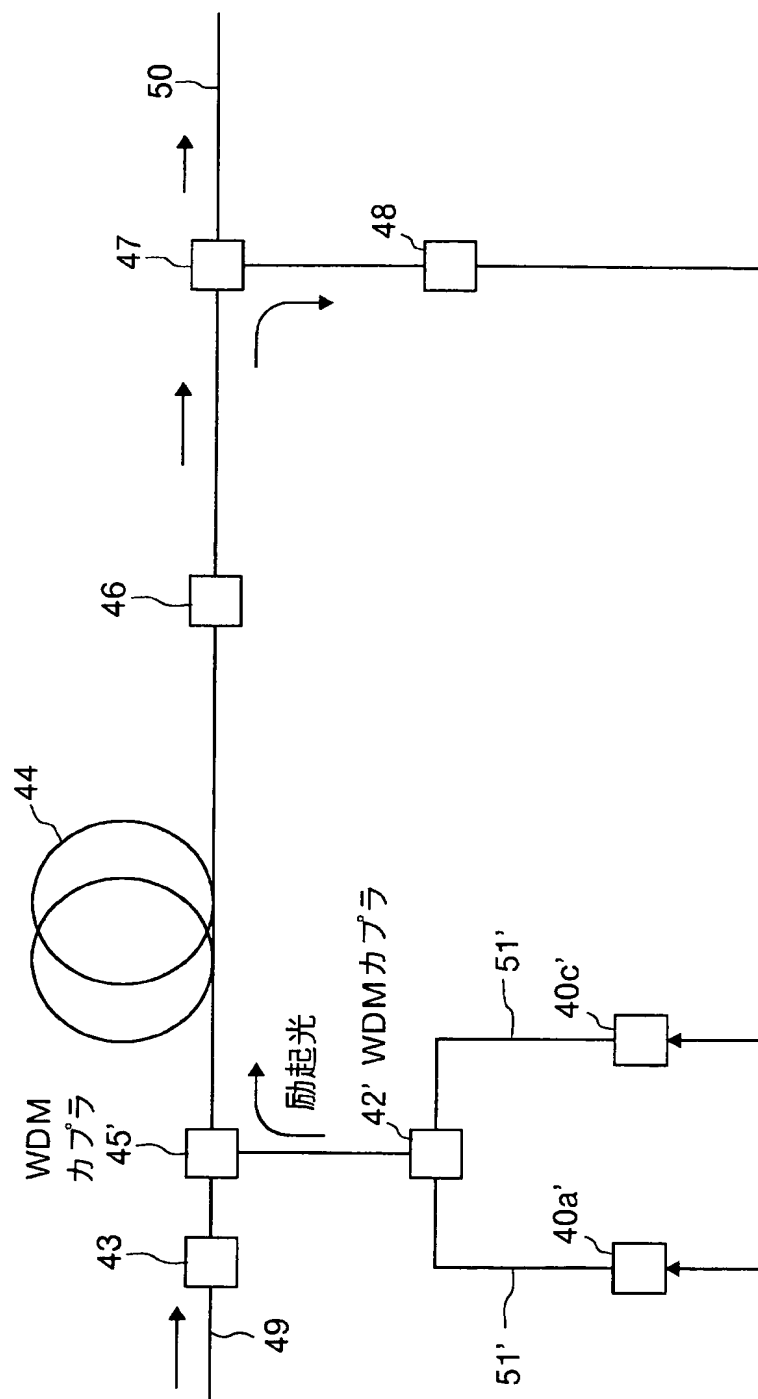
【図 16】



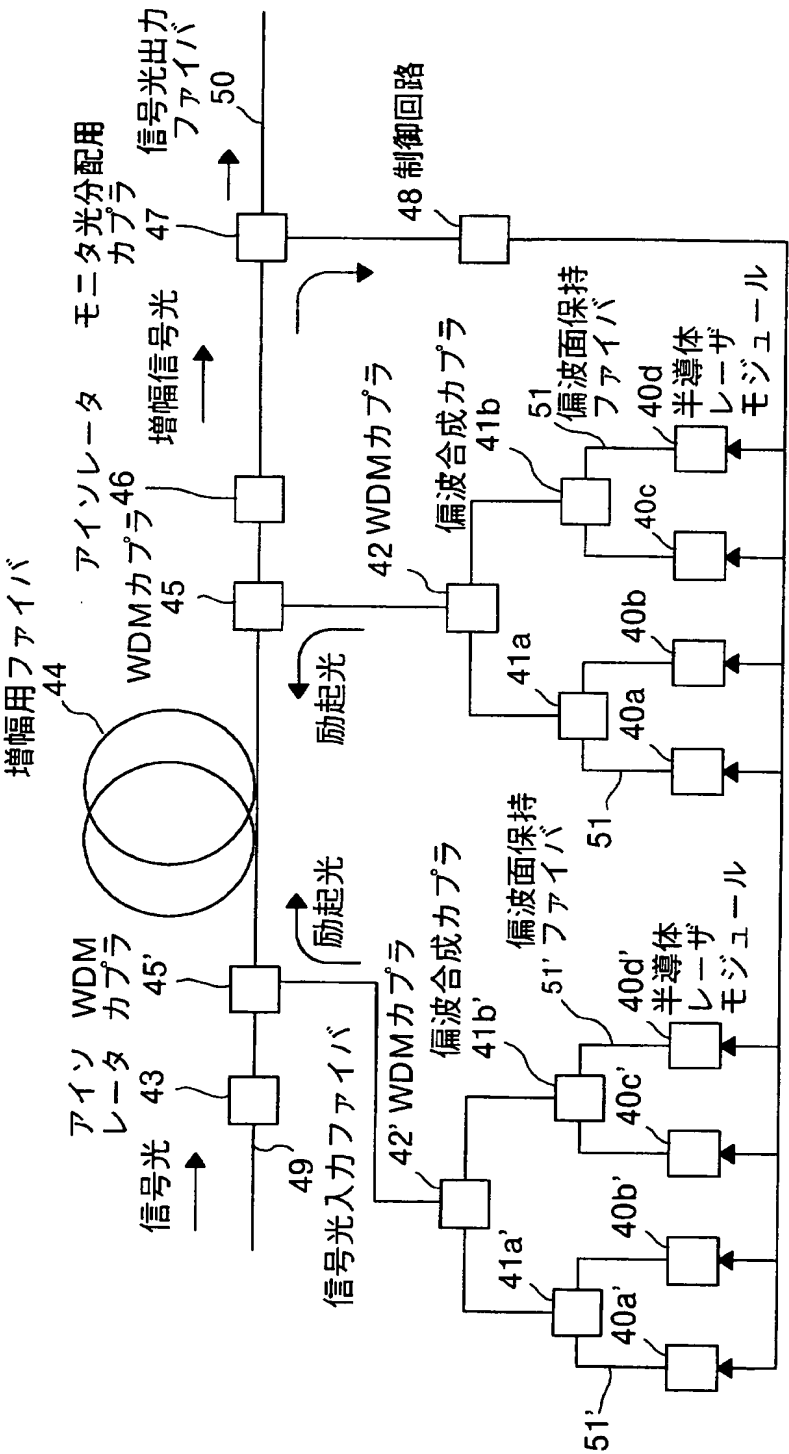
【図 17】



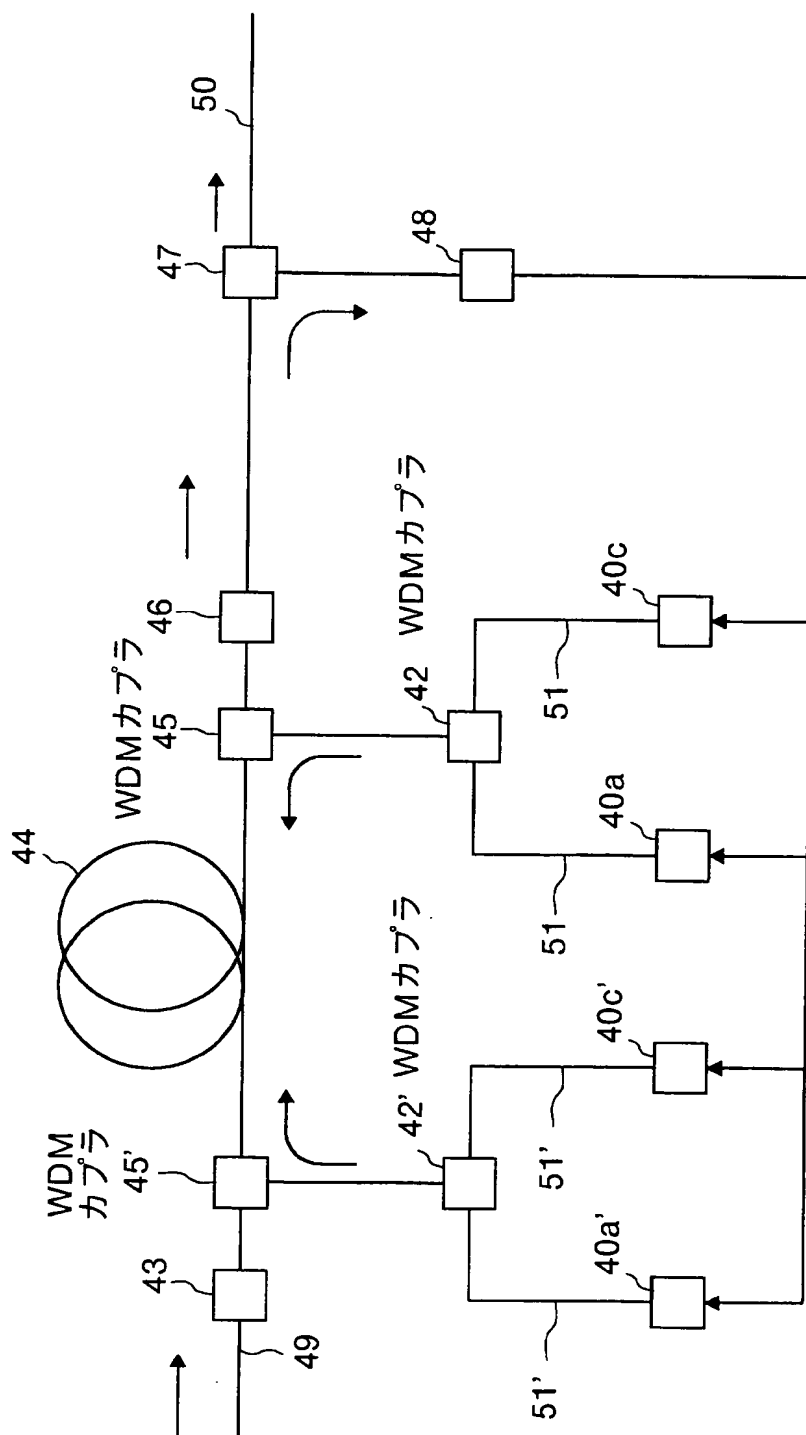
【図 19】



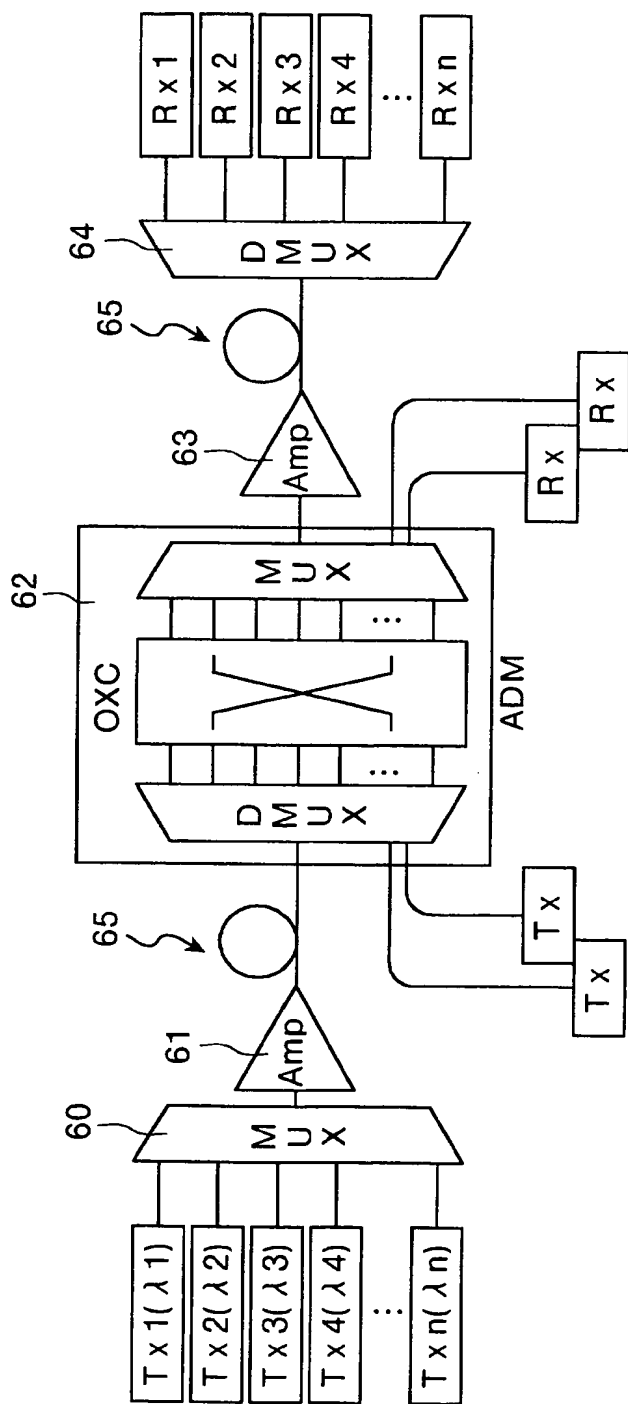
【図 20】



【図 21】



【図 22】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 所定距離伝送した後に相対強度雑音が増加することのないレーザ光を出力する半導体レーザ装置を実現すること。

【解決手段】 n -InP基板1上に n -InPバッファ層2、GRIN-SCH-MQW活性層3、 p -InPスペーサ層4が積層される。 n -InPバッファ層2の上部領域、GRIN-SCH-MQW活性層3および p -InPスペーサ層4に隣接して p -InPブロッキング層8、 n -InPブロッキング層9が積層される。 p -InPスペーサ層4と n -InPブロッキング層9上に p -InPクラッド層6、 p -GaInAsPコンタクト層7、 p 側電極10が積層され、 n -InP基板1の裏面には n 側電極11が配置される。 p -InPスペーサ層4内に回折格子13が配置され、かかる回折格子13が最大強度に対する差分値が10 dB以内となる発振縦モードを60本以下だけ有するレーザ光を選択する。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 2 - 2 0 7 4 9 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 5 2 9 0]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 2 9 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 2 丁目 6 番 1 号

氏 名

古河電気工業株式会社